Der dreißigjährige Kaiser-Wilhelm-Kanal.

Seine Vorgeschichte, Entwicklung und Bedeutung.

Von Oberregierungsbaurat **K. Wulle** in Kiel

(Hierzu 2 Tafeln).

Am 21. Juni 1925 waren dreißig Jahre, ein Menschenalter, verflossen seit dem Tage, an dem der neuerbaute „Nord-Ostsee-Kanal" unter der anerkennungsvollen Teilnahme der Vertreter aller seefahrttreibenden Nationen von Kaiser Wilhelm II feierlich eröffnet wurde. Er führt seitdem in Deutschland zu Ehren des alten Kaisers Wilhelm I., seines wirksamen Förderers, den Namen „Kaiser-Wilhelm-Kanal" und ist in der ganzen Welt als „Kiel Canal" bekannt. Ein Rückblick auf die Vor- und Entwicklungsgeschichte dieser bedeutsamen Anlage, die zu einer „Hochstraße des Weltverkehrs" geworden ist, sowie einige Angaben über ihre hauptsächlichen Merkmale und ihre gegenwärtige Bedeutung dürften aus diesem Anlaß angebracht sein, zumal es an einer das Ganze zusammenfassenden, gedrängten Darstellung des Wesentlichen mangelt.*)

I. Die Vorläufer des Kaiser-Wilhelm-Kanals, insbesondere der Eiderkanal.

Fünf Jahrhunderte alt ist das Bestreben, eine kurze Verbindung zwischen Nordsee- und Ostseegebiet zu schaffen und dadurch der Schiffahrt den weiten, durch zahllose Schiffsunfälle als gefährlich bekannten Umweg um Skagen, die Nordspitze Jütlands und der zimbrischen Halbinsel, zu ersparen (Abb. 1).

Die ersten ausgeführten Verbindungen, der S t e c k n i t z - K a n a l zwischen Lübeck an der Trave und Lauenburg an der Elbe — fertiggestellt 1398 und in dem 1900 eröffneten Elbe-Trave-Kanal aufgegangen — sowie der Beste-Kanal zwischen Lübeck und Hamburg mit Benutzung der Beste und der Alster, Nebenflüssen der Trave und der Elbe, — fertiggestellt 1525 und schon 1550 wieder zerstört — waren beide im Erfolge nur bescheidene Versuche; sie ließen nur den Verkehr mit sehr kleinen Fahrzeugen zu und dienten hauptsächlich den Beziehungen zwischen Lübeck und Hamburg.

Während der Blütezeit der Hansa, deren Schiffahrt das ganze baltische Meer beherrschte, und bis zum Ausgange des Mittelalters fehlte ein stärkerer Anreiz für eine rege Seeschiffahrt und einen sicheren Schiffahrtweg zwischen dem baltischen und dem deutschen Meer, zwischen Ostsee und Nordsee (oder „Westsee", wie es damals hieß). Die Haupthandelsstraßen verliefen zwischen den italienischen Häfen und den Ost- und Nordseehäfen über Land. Nach der Entdeckung Amerikas und des Seeweges nach Ostindien gelangten die großen Warenmengen aus diesen Gebieten und ebenso von den afrikanischen Küsten aber sicherer und billiger auf dem Seewege in die Nordseehäfen; die Landverbindung verlor ihre alte Bedeutung, und die ganze Entwicklung des Seehandels in der Neuzeit lenkte die Wünsche unternehmungslustiger Staatsmänner und Kaufleute, für die das Ostseegebiet von besonderer Wichtigkeit war, immer stärker auf einen kurzen und sicheren Schiffahrtweg zwischen Nordsee und Ostsee hin.

Eine wirksame Verbindung mußte eine möglichst weit im Süden liegende Durchquerung der schleswig-holsteinischen Halbinsel selbst zum Ziele haben, die mit ihren tief ins Land einschneidenden Buchten und Flußmündungen offensichtlich dazu einlud. Um 1571 verfolgte der Herzog Adolf I. von Holstein, Bruder des Königs Christian II. von Dänemark, der Gründer der Gottorper Linie, ernstlich den Plan eines Schiffahrtskanals vom Kieler Hafen nach der Eider.

In einer „Vorstellung" des Herzogs Adolf an den Kaiser, gegeben Gottorf, den 10. August 1571, heißt es: „Nun ist aber das Fürstenthumb Holstein zwischen der Ost und West Sehe gelegen also das es an der einen Seiten Jegen der Sonnen Niedergang die West Sehe hatt und Jegen der Sonnen Aufgang die Ost Sehe lieget. Und wirdt bey meiner Stadt Kiell an der Ost Sehe belegen die Gelegenheit erspuret und befunden das man einen graben ungefehrlich zweitausend rutten lang eine Schiffahrt durch etzliche Sehe und Awen bis in den Wasserfluß die Eider genandt, kan gemachet werden. Welcher Wasserfluß an Im selbst Schiffreich ist und in die West Sehe seinen Fall hat. Das also nach gemachtem solchem graben und etzlicher verfertigter Schleusen die Kaufmannswahren und gutter ohne alle gefahr und Abenthewer Wetters und Windes halber auf lengste in dreyen tagen aus der West Sehe sicher und mit gutter gelegenheit durchgefuret werden können, da man sonst bis anhero zu der Schiffunge durch den Beidt oder den Sundt etzliche wochen haben, treffentliche unkosten thuen und vielfaltige gefahr ausstehen müssen. Wann nuhn solche Schiffahrth zu beforderunge und vermehrunge der Commerzien und kaufmannsgewerb aus frembden Nationen zu wirklichen nutz und fromens des hayligen Reichs gereichen und gedayen wirdt, Solche Schiffahrth auch allen der Ost und West Sehe angelegenen Ländern und Stedten ganz gefellig und ahnmutig. So bin ich für habens neben meinem freundtlich lieben Bruder Hertzog Johansen zu Schleswig-Holstein solch Werk fürzunehmen und dasselbige Im nahmen des Almechtigen verfertigen zu lassen."

Aber erst mehr als 200 Jahre danach fand dieser Plan — nachdem weitschauende Männer innerhalb und außerhalb Deutschlands, darunter sogar Wallenstein und Oliver Cromwell, sich mit ähnlichem Vorhaben einer Nord-Ostsee-Verbindung aus militärischen und handelspolitischen Gründen getragen hatten — seine Erfüllung in dem 1784 eröffneten s c h l e s w i g - h o l s t e i n i s c h e n o d e r E i d e r - k a n a l, zu einer Zeit, da Schleswig-Holstein mit Dänemark noch durch Personalunion verbunden war. Sein Zustandekommen war hauptsächlich ein Verdienst des Schatzmeisters Heinrich Graf v. Schimmelmann und des Ministers Andr. Peter v. Bernstorff. Der von dem Generalmajor von Wegener geleitete Bau, der sieben Jahre dauerte und damals neun Millionen Mark kostete, war eine bedeutende technische Leistung. Ein so berufener Beurteiler wie der hamburgische Baudirektor Woltman sagt von ihm in seinem Werke „Beyträge zur Baukunst schiffbarer Kanäle" (Göttingen 1802) aus eigener Kenntnis: „Der schleswig-holsteinische Kanal zeichnet sich unter allen ähnlichen Kanälen durch Größe und Zweckmäßigkeit

Abb. 1. Karte der Seewege zwischen Nord- und Ostsee.

*) Der Aufsatz ist schon vor längerer Zeit geschrieben, seine Veröffentlichung hat sich verzögert.

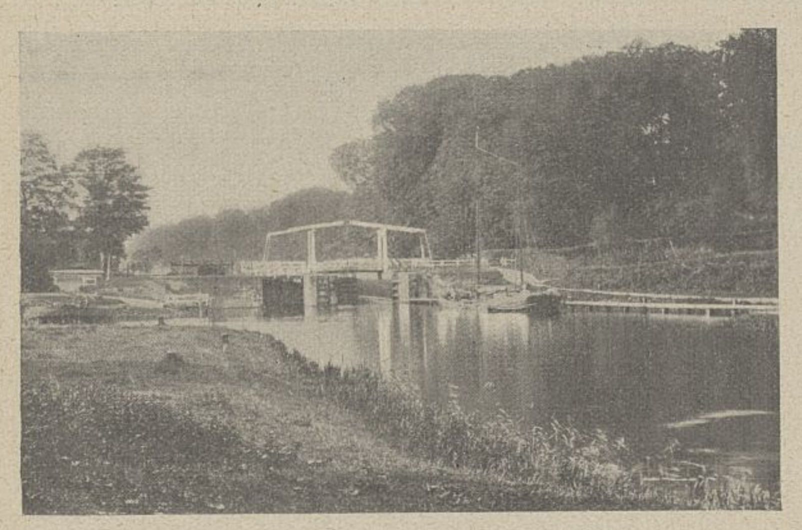


Abb. 2. Alte Eiderkanalschleuse Knoop bei Holtenau.

seiner Dimensionen wie durch Solidität seiner Werke aus." Er hatte damals in der Tat nicht seines Gleichen in der Welt und stellte einen wesentlichen Fortschritt im Bau von Wasserverkehrsstraßen dar.

Der schleswig-holsteinische Kanal verband die Kieler Förde bei Holtenau unter Benutzung des Levensau- und Obereidertales — entlang der alten Grenze zwischen Schleswig und Holstein — mit den oberen Eiderseen bei Rendsburg und hatte 43 km Gesamtlänge, wovon 10 km auf die genannten Obereiderseen (Schirnauer, Borgstedter, Audorfer See) entfielen; 15,5 m Sohlenbreite, 27,5 m Wasserspiegelbreite und 3 m Wassertiefe bei niedrigstem Wasserstande, dazu 1 : 2 geneigte Böschungen, was 65 qm Wasserquerschnitt ergab. Zu der aus dem Flemhuder- und Westensee des oberen Eidertales gespeisten Scheitelhaltung stieg der Kanal von dem mittleren Ostseespiegel mit 3 Schleusen (Holtenau, Knoop, Rathmannsdorf) 6,9 m hoch empor; westlich stieg er mit drei gleichen Schleusen (Königsförde, Kluvensieck, Rendsburg) zur unteren Eider hinab, um 6,8 m bei Gew. N. W. und um 6,1 bei Gew. H. W. Von Rendsburg ab bildete die der Ebbe und Flut unterliegende Untere Eider die weitere, natürliche Verbindung mit der Nordsee. Die Schleusen hatten 28,7 m nutzbare Länge, 7,85 m nutzbare Weite und über den Drempeln die gleiche Wassertiefe von rund 3 m wie der Kanal; sie waren ebenso wie das daneben liegende Freigerinne sehr gediegen in Mauerwerk auf Pfahlrost errichtet und mit hölzernen Stemmtoren, Umlaufschützen und Zugbrücke ausgerüstet (Abb. 2).

Die Schiffahrt wurde hauptsächlich mit Hilfe von Pferdetreidelei, bei günstigem Winde mit Segeln betrieben, zuletzt auch mit kleinen Dampfern. Zugelassen waren Fahrzeuge bis 28,7 m Länge, 7,45 m Breite, 2,67 m Tiefgang. Sie trugen an Ladung (nach Woltman) bis 100 „hamburgische Last zu 4000 Pfund" (oder rund 200 t), die eigens für diesen Kanal gebauten dänischen Segler oder „Kanalschiffe" sogar 96 „Kommerzlast" = 108 hamburgische Last (oder rund 216 t). Der Verkehr zählte Anfang des 19. Jahrhunderts etwa 2000 Schiffe jährlich. Jedes Schiff entrichtete eine Abgabe bei jeder Schleuse und Brücke sowie einen über den dänischen „Sundzoll" etwas hinausgehenden Zoll in Rendsburg, später noch besondere Durchgangsabgaben. Bald nach Beginn der preußischen Herrschaft traten (1869) an Stelle aller dieser Abgaben, die insgesamt die Kanalfahrt nicht ohne Absicht der dänischen Regierung sehr verteuerten, lediglich sehr mäßige Schleusengelder.

Hundert Jahre lang hat dieser Schiffahrtweg, der die erste wirkliche Seeschiffahrtstraße zwischen Nordsee und Ostsee quer durch die zimbrische Halbinsel war, der Schiffahrt und auch dem Lande großen Nutzen gebracht. Die Absicht der dänischen Kreise war allerdings anfänglich dahin gegangen, daß allein die dänische Flagge auf dem Kanal gesehen werden sollte; doch entwickelte sich bald der Verkehr dank seiner, auch für andere seefahrttreibende Staaten günstigen Lage nicht in so einseitiger Weise. Seine Abmessungen genügten auch lange Zeit hindurch vollkommen der Hauptzahl der damaligen Küsten- und Ostseefahrer.

II. Die eigene Vorgeschichte des Kaiser-Wilhelm-Kanals.

Um die Mitte des 19. Jahrhunderts empfanden die Handel und Schiffahrt treibenden Kreise gegenüber der Zunahme der Zahl und Größe der Seeschiffe und namentlich der Dampfschiffe immer mehr die Beschränkungen, die der Eiderkanal durch seine Abmessungen, scharfen Krümmungen und sechs Schleusen dem Verkehr auferlegte und die vermehrt wurden durch den langen, überaus stark gewundenen Lauf des Eiderflusses unterhalb von Rendsburg. Ihre auf Schaffung einer leistungsfähigeren Nord-Ostsee-Verbindung gerichteten Bestrebungen stießen indessen bei der dänischen Regierung auf unüberwindlichen Widerstand, der durch Rücksichten auf die Sund- und Beltfahrstraßen und durch militärisch-politische Erwägungen bestimmt war.

Mit der dänischen Herrschaft fielen diese Hemmungen weg, nachdem der dänische Sundzoll schon 1857 aufgehoben worden war. Alsbald wurde der preußische Oberbaurat Lentze vom Preußischen Handelsminister Graf Itzenplitz, einem begeisterten Kanalvorkämpfer, mit den Vorarbeiten zu einem neuen Nord-Ostsee-Kanal beauftragt. Der Ministerpräsident v. Bismarck wandte dem Vorhaben sogleich seine volle Teilnahme und Unterstützung zu. Lentze arbeitete eine Linie aus, die von St. Margareten an der Unterelbe (dicht oberhalb der jetzigen Kanaleinfahrt Brunsbüttelkoog) über Rendsburg nach Eckernförde an der gleichnamigen tiefen Ostseebucht führen sollte und zum erstenmal als reiner „Durchstichkanal" auf Ostseespiegelhöhe, mit nur einer, gegen den Elbetidenwechsel nötigen Schleuse am Westende, geplant war. Die politischen Ereignisse des Jahres 1866 hinderten die Ausführung dieses Planes.

Nicht unerwähnt möge sein, daß ihm einige andere bemerkenswerte Bearbeitungen vorangegangen waren (Abb. 3), die zeigen, wie stark und in wie verschiedener Weise der Plan einer Nord-Ostsee-Verbindung die Geister bewegte:

Zunächst ein Entwurf der Gebrüder Christensen (Glückstadt) mit einer Linie Brunsbüttel (Elbe) — Burg — Westensee — Kiel, aufgestellt im Auftrage des nach der Erhebung der Herzogtümer Schleswig-Holstein 1848 gebildeten „Kieler Ausschusses zur Begründung einer deutschen Flotte", sowie Nebenentwürfe derselben Verfasser mit den Linien Glückstadt — Kiel und Brunsbüttel — Rendsburg — Eckernförde. Der letztere Plan, wobei die Obereiderseen als Kriegshafen gedacht waren, sah zwei Schleusen an den Mündungen und eine Zwischenschleuse bei Rendsburg vor und wurde eifrig verfolgt von einem Rendsburger Ausschuß und von dem damaligen Kriegsminister, dem preußischen General von Peucker.

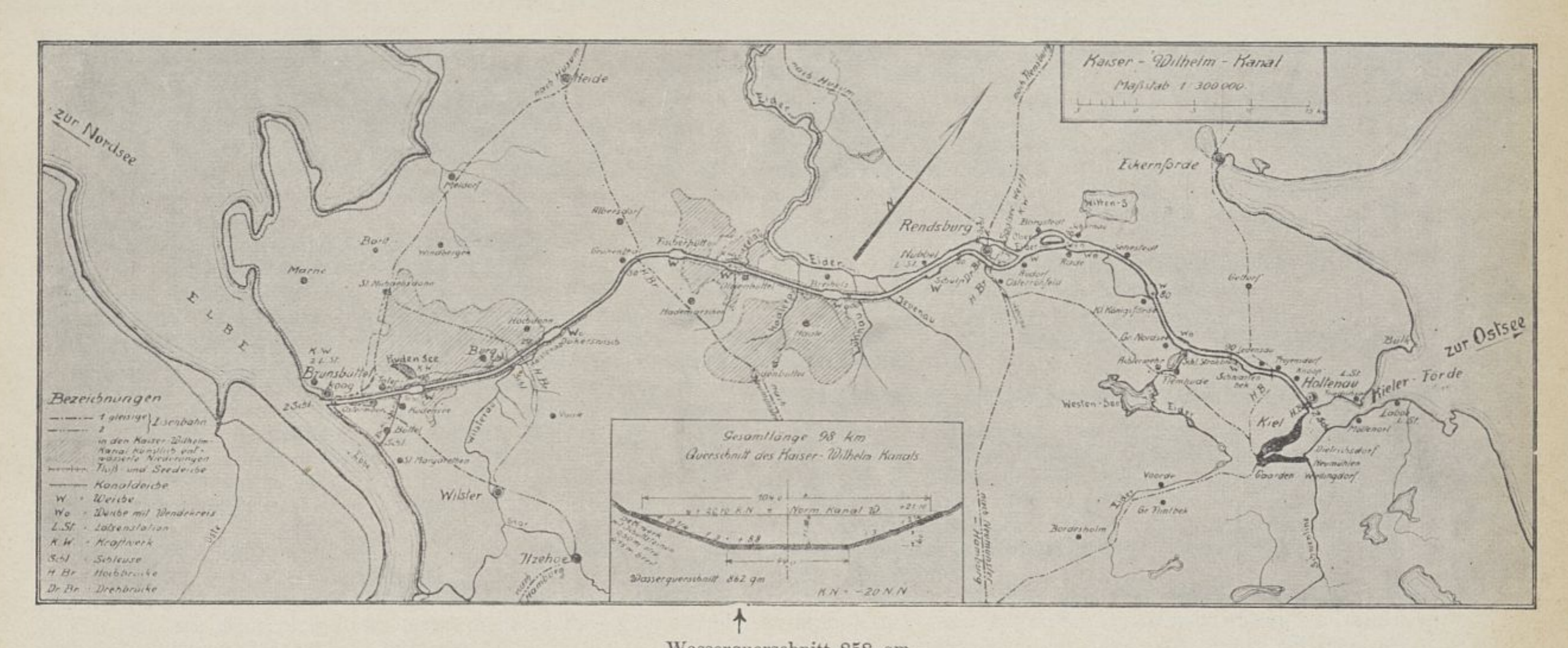
Dann Entwürfe des holsteinischen Ingenieurs Kröhnke, die er 1863 auf Anregung und Kosten eines nach Amerika ausgewanderten dänischen Unternehmers C. Hansen fertigstellte, mit den Linien Glückstadt, Störmündung oder St. Margarethen an der Unterelbe — Bramstedt — Haffkrug an der Neustädter Bucht (nördlich von Lübeck), mit sieben Doppelschleusen.

Für den Lentzeschen Plan St. Margareten — Rendsburg — Eckernförde (ohne Zwischenschleusen) setzte sich ein zur Begründung einer Aktien-Gesellschaft für den Kanalbau gebildeter Ausschuß ein, dem der ehemalige Minister von der Heydt als Vorsitzender und namhafte Bankfirmen und Handelshäuser in allen großen Hafen- und Handelsstädten angehörten. Dagegen trat ein von Professor Dr. G. Karsten geführter „Kieler Ausschuß" seit 1864 nachdrücklich für einen vom Baudirektor E. Christensen neubearbeiteten Plan ein, bei dem der Kanal von der Unterelbe zwischen St. Margareten und Brunsbüttel über Burg — Bokelholm — Westensee mit sechs Schleusen nach der Kieler Förde gehen sollte.



Abb. 3. Uebersichtsplan
über die hauptsächlichen Entwürfe eines Nord-Ostsee-Kanals.

Der dreißigjährige Kaiser-Wilhelm-Kanal



Wasserquerschnitt 858 qm.

Abb. 1. Uebersichtsplan und erweiterter Querschnitt des Kaiser-Wilhelm-Kanals.

1. Stecknitz-Kanal. erbaut 1391–1398. F = 5,7–7,0 qm

2. Elb-Trave-Kanal. erbaut 1895–1900. 32,0 22,0 F = 54 qm

3. Eider-Kanal. erbaut 1777–1784. 27,5 15,5 F = 65 qm

4. Kaiser-Wilhelm-Kanal. erbaut 1887–1895. 66,70 K.M.W. = -0,23 N.N. 9,00 22,0 F = 413 qm

5. Erweiterter-Kaiser-Wilhelm-Kanal. erbaut 1907–1914. 104,0 82,0 Dortmund-Ems-Kanal Mittellandkanal Suez-Kanal 37,0 Panama-Kanal 44,0 61,0 F = 858 qm (normaler Wasserquerschnitt)

Querschnitte.

7,82 25,0 33,0 45,0 Eider-Kanal Schl. Alte Schleusen des K.W.K. Panama-Kanal Schl. Neue Schleusen des K.W.K. 12,0 Mittellandkanal Schl.

Nutzbare Weite und Tiefe bei normalem Kanalwasserstand.

Grundrisse.

Nutzbare Längen und Weiten.

Neue Schleusen des K.W.K. Panama-Kanal-Schleuse Alte Schleusen des K.W.K. Eider-Kanal Schl. 32,0 150,0 305,0 330,0 45,0 33,0 25,0

Mittellandkanal-Schl. 85,0 12,0

Kanäle zwischen Nord- und Ostsee — Schleusen an den Kanälen 3—5

Abb. 2. Vergleich zwischen verschiedenen Seekanälen.

Verlag: Guido Hackebeil A.-G., Berlin S 14.



Noch eine Reihe anderer Vorschläge tauchte zu jener Zeit auf und wurde von gewissen Kreisen lebhaft befürwortet, wie z. B. Kanalverbindungen zwischen Husum oder Lister Tief an der schleswigschen Westküste mit Eckernförde bzw. Flensburg an der Ostküste; doch mußten sie wegen ihrer verhältnismäßig größeren Kosten und viel geringeren Vorteile, sowie wegen ihrer militärischen Schwächen, von vornherein als verfehlt gelten.

Durch die zahlreichen Entwürfe und Vorschläge und den lebhaften, von Eigensucht nicht immer freien Streit der Meinungen spitzte sich die Frage nach dem besten Nord-Ostsee-Kanal schließlich darauf zu, ob er als „Schleusenstufenkanal" mit Zwischenschleusen oder als „Durchstichkanal" ohne Zwischenschleusen hergestellt, ferner ob er in die Eckernförder Bucht oder in die Kieler Förde einmünden sollte.

Von besonderer Bedeutung war hierbei ein Gutachten, das Graf Moltke als Chef des Generalstabes der Armee im Jahre 1864 an den preußischen Kriegsminister von Roon erstattete. Moltke, an sich jetzt und später kein Freund des Kanalplanes und viel mehr geneigt, die bedeutenden Baukosten zu Verstärkungen von Heer und Flotte zu verwenden, bezeichnete die Gegend St. Margareten — Brunsbüttel als die einzig gegebene Stelle für die westliche Kanalmündung an der Unterelbe und den Kieler Hafen als die beste und militärisch sicherste östliche Mündungsstelle und erklärte, daß der Kanal außer an den Endpunkten keine Schleusen erhalten dürfe — scharfblickende Forderungen, die später durch den wirklichen Kanalbau auch tatsächlich erfüllt und durch den Kanalbetrieb als richtig erwiesen worden sind.

Demgemäß stellte das preußische Kriegsministerium das Verlangen, den Kanal an Kiel anzuschließen, und arbeitete Lentze 1866 seinen Entwurf in einen „Durchstichkanal" Unterelbe — Rendsburg — Kiel um. Die Hauptzüge dieses umgearbeiteten Entwurfes liegen auch dem späteren Bauentwurfe zugrunde.

Die politischen Ereignisse der Jahre 1866 und 1870/71 brachten indessen vorläufig alle Kanalpläne zum Stocken. Nach 1871 nahm der Ausbau des neuen Deutschen Reiches, die Sorge für die Verstärkung des Heeres und der Flotte alle Kräfte in Anspruch, so daß auch Bismarck, Roon und Graf Itzenplitz, die ausgesprochenen Freunde des Kanalplanes, keine Zeit und Möglichkeit fanden, diesen vorwärts zu bringen, zumal der Generalfeldmarschall Graf Moltke wiederholt sein gewichtiges Wort gegen ihn richtete.

Erst im Jahre 1878 wurde die Frage mit starker Wirkung aufs neue angeregt, und zwar von einer ganz anderen Seite, durch den Hamburger Reeder H. Dahlström, der eine Denkschrift „Die Ertragsfähigkeit eines schleswig-holsteinischen Seeschiffahrtskanals" im Anschluß an die Lentzeschen Arbeit vom Jahre 1865 veröffentlichte und dem preußischen Arbeitsministerium sowie anderen preußischen und Reichsministerien überreichte. Der erste Erfolg war, abgesehen von einer wohlwollenden Antwort Bismarcks, wenig ermutigend. Immerhin hatte Dahlström damit den Bann gebrochen, und er ruhte fortan in seinen Bemühungen nicht, bis das große Werk gesichert war.

Im Jahre 1879 ließ er eine zweite Denkschrift erscheinen: „Der Nord-Ostsee-Kanal als Durchstich mit Endschleusen zwischen der Elbmündung, dem Eidergebiet und der Kieler Bucht" und 1880 erhielt er von der preußischen Regierung die Erlaubnis, allgemeine Vorarbeiten für diesen Kanal vorzunehmen sowie die Lentzeschen Pläne zu benutzen. Der von ihm hierfür gewonnene Regierungsbaumeister Boden arbeitete alsdann einen neuen Entwurf aus, dem die spätere Ausführung im wesentlichen gefolgt ist; seine geplante Linie unterschied sich von ihr hauptsächlich darin, daß sie in der westlichen Strecke sich viel näher am Geestrande Kuden — Burg hielt und noch die Untereider selbst von Wittenbergen bis Rendsburg benutzen wollte.

Auf Grund dieses von Dahlström 1881 eingereichten Entwurfes trat die preußische Regierung mit der Reichsregierung in kommissarische Beratungen, deren Seele der preußische Geheime Oberbaurat Baensch war, als eifriger Freund des Kanalbauplanes sowie als hervorragender Sachkenner und Wasserbaufachmann für diese Aufgabe vornehmlich geeignet und für sie auch bis zur Vollendung mit allen Kräften tätig.

Die wegen der mannigfachen Rücksichten und Forderungen schwierigen Verhandlungen hätten sich, mit zweifelhaftem Erfolge, wohl noch sehr lange hingezogen, wenn sie nicht durch eine von Bismarck gern und nachdrücklich weitergeleitete Anregung des alten Kaisers Wilhelm I., der die Herstellung eines Nord-Ostsee-Kanals schon aus militärisch-politischen Gründen dringend empfahl, einen mächtigen Antrieb erfahren hätten. In den technischen Fragen wurde, auf Grund des gemäß den weitergehenden Anforderungen von Baensch umgearbeiteten Dahlström-Bodeschen Entwurfes, eine Einigung zwischen den beteiligten amtlichen Stellen erzielt. Die Verhandlungen fanden ihren Abschluß in der Uebernahme der Bauausführung durch das Reich. Das von Dahlström ursprünglich beabsichtigte Privatunternehmen unter bloßer Beteiligung des Reichs und Preußens kam infolgedessen nicht zustande.

Durch das Reichsgesetz vom 16. Mai 1886 wurde die Herstellung „eines für die Benutzung durch die deutsche Kriegsflotte geeigneten Seeschiffahrtkanals von der Elbmündung über Rendsburg nach der Kieler Bucht" auf Kosten des Reichs unter der Voraussetzung genehmigt, daß Preußen zu den auf 156 Millionen Mark veranschlagten Gesamtkosten einen Beitrag von 50 Millionen Mark im voraus leistete. Diese Voraussetzung wurde durch das preußische Gesetz vom 16. Juli 1886 erfüllt.

Schon am 1. Oktober 1886 begann die für die Bauausführung gebildete „Kaiserliche Kanalkommission" in Kiel, die von dem Geheimen Regierungsrat Loewe und dem Geheimen Baurat Fülscher geleitet wurde, ihre Tätigkeit, und am 3. Juni 1887 folgte die feierliche Grundsteinlegung in Holtenau. Diese erhielt ihre besondere Weihe durch die Teilnahme des greisen Kaisers Wilhelm I., der dabei zum letzten Male vor einem größeren Kreise öffentlich hervotrat und seine drei Hammerschläge mit den Worten begleitete:

„Zur Ehre des geeinigten Deutschlands —
Zu seinem fortschreitenden Wohle —
Zum Zeichen seiner Macht und Stärke!"

In erfreulich hohem Maße haben sich diese Wünsche bei dem fertigen Werke erfüllt.

III. Bauausführung und Hauptzüge des alten Kaiser-Wilhelm-Kanals.

Die Bauausführung, an der unter der Leitung der Kaiserlichen Kanalkommission in Kiel 5 Bauämter mit Beamten aus dem ganzen Reiche beteiligt waren, dauerte acht Jahre. Sie kostete 156 Millionen Mark, worin 11,1 Millionen Mark für Grunderwerb; hierzu kamen in späteren Jahren rund 6 Millionen Mark für ergänzende Anlagen und Einrichtungen — insgesamt also 162 Millionen Mark Anlagekosten.

Der am 21. Juni 1895 dem Weltverkehr übergebene „Kaiser-Wilhelm-Kanal" hatte mit seiner großartigen Anlage und seinen vorzüglichen Einrichtungen in der Welt nicht seines Gleichen und war ein weithin glänzendes Zeugnis selbstbewußten deutschen Unternehmungsgeistes und deutscher Ingenieurbaukunst.

Folgende kurze Angaben über die Hauptzüge der neuen Anlage mögen dartun, welche gewaltigen Unterschiede und Fortschritte für den Seeschiffverkehr sie gegenüber dem obenbeschriebenen „Eiderkanal" aufwies,*) und die Größe und Vielseitigkeit des ganzen Unternehmens kennzeichnen.

Linienführung (Abb. 1 auf Tafel 1).

Der Kaiser-Wilhelm-Kanal ging von Brunsbüttelkoog an der Unterelbe aus, einer durch beständige Lage der tiefen Stromrinne am rechten Ufer ausgezeichneten Stelle, die 72 km unterhalb Hamburgs und 30 km oberhalb Cuxhavens (Elbmündung in die Nordsee) gelegen ist (= Kanalkilometer 0); er durchzog die fruchtbaren westholsteinischen Marschen und das moorreiche Gebiet der Burg-Kudenseer Niederung, durchschnitt den hochgelegenen sandigen Geestrücken der Wasserscheide zwischen Elbe und Eider bei Grünenthal, führte östlich davon durch die Niederungsgebiete der linken Eiderneben-flüßchen Gieselau, Haalerau, Luhnau, Jevenau und Wehrau und dann durch die hinter Rendsburg liegenden Obereiderseen — Audorfer See, Borgstedter Enge und Schirnauer See —, er durchschnitt in seinem letzten Viertel das wellige, hochgelegene östliche Holstein und erreichte schließlich die Kieler Förde bei Holtenau (= Kanalkilometer 99).

Zwischen den Obereiderseen und der Kieler Förde kreuzte der neue Kanal mehrfach den in ihm aufgehenden Eiderkanal.

Kanalquerschnitt.

Der Kanal erhielt 22 m Sohlenbreite. Seine Wassertiefe betrug 9 m auf der Strecke von Holtenau (km 99) bis Rendsburg (km 60) und vergrößerte sich von hier bis Brunsbüttelkoog (km 0) wegen der westwärts eingerichteten Entwässerung des Kanals auf 10,3 m bei gewöhnlichem Kanalwasserstande, der gleich dem mittleren Ostseewasserstande bei Holtenau $= -0{,}23$ m NN angesetzt worden war. Hierbei waren 67 m Wasserspiegelbreite und 413 qm kleinster Wasserquerschnitt vorhanden, also der 6,4 fache Querschnitt des Eiderkanals.

Die gebrochenen Kanalböschungen waren von der Sohle aus 1 : 3, dann 1 : 2 bis zu einer 2,5 bis 9,5 m breiten Unterwasserberme, oberhalb dieser 1 : 1,5 und hier mit Steinen befestigt (vgl. die Abb. 2 der Querschnitte auf Tafel 1).

Die Kanalsohle war in den $R = 1000$ bis 2500 m Halbmesser aufweisenden, Krümmungen angemessen verbreitert (um $26 - \frac{R}{100}$ m) ferner bis auf 60 m Breite in den sechs, je 450 m langen Ausweichen, die angelegt wurden, um das Vorbeilassen großer Schiffe von mehr als 5,5 m Tiefgang und sonstiger schwierigerer Transporte ohne Gefahr zu ermöglichen, während im übrigen die Schiffe sich an jeder

*) Nähere Angaben und viele Zeichnungen enthält das große Werk „Der Bau des Kaiser-Wilhelm-Kanals" von Fülscher und Hans W. Schultz 1898 (vgl. auch Zeitschrift für Bauwesen, 1896—1898).

Stelle der Kanalstrecke begegnen durften. Der Audorfer See bot außerdem eine für die größten Schiffe ausreichende Wendestelle.

Die zu diesem gewaltigen Bodenaushube erforderlichen Erdarbeiten, die insgesamt 82,2 Millionen Kubikmeter umfaßten, boten durch ihre Größe, vielfach aber auch durch die Bodenbeschaffenheit nicht geringe Schwierigkeiten. Solche ergaben sich namentlich beim Durchschneiden der Elbeniederung in der 10 km langen, bis 30 m tiefen Moorstrecke südlich des Kudensees, wo ein sicherer Aushub nur zwischen mächtigen, bis auf den Moorgrund hindurchgeschütteten Sanddämmen möglich war; dann auch in dem feinen Fließsande des hohen Geesteinschnittes bei Grünenthal und in dem harten, steinigen Geschiebemergel der ostholsteinischen Strecke. Besonders erschwert wurden die Erdarbeiten zwischen den Obereiderseen und Holtenau noch dadurch, daß die Eiderkanalschiffahrt während des Baues, trotz Absenkung der alten Kanalwasserstände auf den neuen Kanalspiegel, aufrechtzuerhalten war.

Diese Spiegelsenkung betrug gegenüber der Scheitelhaltung des Eiderkanals 6,9 m und erfaßte mit diesem Maße auch den südlich anschließenden Flemhuder See (km 85), der hierdurch sehr verkleinert wurde.

Landwirtschaftliche Bauanlagen.

Das Bestreben, landwirtschaftliche Schädigungen zu verhüten und womöglich Verbesserungen zu erzielen, führte im Gefolge der gewählten Kanallinie und Kanalspiegelhöhe noch zu vielen anderen Hilfsanlagen. An der westlichen Strecke hatten niedrige Deiche an beiden Kanalufern das Wasser von den tiefgelegenen Niederungen, anderseits ein von km 39,1 (Reitmoor) bis km 59,2 (vor Rendsburg) das Nordufer begleitender, stärkerer Deich das Eiderhochwasser vom Kanal abzuhalten.

In den Marsch- und Moorniederungen der Elbmarschen wurden zwei große Ent- und Bewässerungsverbände durchschnitten: Die Vierschleuseeinigungskommune und die Burg-Kudenseer Niederung.

Der abgeschnittene südliche Teil der ersteren, zu der auch der Brunsbüttel-Eddelaker Koog und Blangenmoor gehörten, erhielt eine einfache neue Entwässerung mit Siel nach der Elbe.

Das Ent- und Bewässerungssystem der Burg-Kudenseer Niederung dagegen mußte eine starke Umgestaltung erleiden. Sie hatte bis dahin durch die schiffbare Burgerau und den daranschließenden Bütteler Kanal mittels der „Bütteler Schleuse" (oberhalb von Brunsbüttelkoog) in die Elbe entwässert. Im kleineren abgeschnittenen Teil südlich des Kaiser-Wilhelm-Kanals änderte sich nicht viel, er behielt seine Entwässerung durch die Bütteler Schleuse nach der Elbe. Der größere nördliche Teil dagegen, mit rund 77 qkm Gesamtfläche, wurde nun ganz auf den Kaiser-Wilhelm-Kanal angewiesen; die abgeschnittene Burgerau erhielt am unteren Ende bei Kudensee (km 6) ein großes Entwässerungssiel zum Kanal und daneben ein Dampfschöpfwerk zur Aushilfe — verbunden mit einer Wasserversorgungsanlage für Brunsbüttelkoog — und am oberen Ende eine neue kleine Schiffahrtschleuse, die „Burgerauschleuse" (km 16), zur Verbindung mit dem Kaiser-Wilhelm-Kanal und weiterhin durch die gegenüber am Kanalsüdufer angelegte „Wilsterauschleuse" zur Verbindung mit der Wilsterau.

Für das gleichfalls zur Elbe gerichtete Holstenau- und Wilsteraugebiet entstand sogar eine Verbesserung durch das Abschneiden des obersten Einzugsgebietes und durch die Verbindung zum Kaiser-Wilhelm-Kanal mittels der erwähnten neuen Wilsterauschleuse, die auch zur Ableitung von Wilsterauhochwasser in den Kanal bestimmt wurde.

Wesentliche Verbesserung brachte der Kanal für die Niederungen der linken Eidernebenflüsse Gieselau, Haalerau, Luhnau, Jevenau und Wehrau, die er zwischen km 32 (Beldorf) und km 60 (Rendsburg) durchschnitt, und zwar für ihre südlich des Kanals gelegenen Flächen, die so den häufigen Eiderhochfluten entzogen wurden.

Oestlich von Rendsburg liegt das Land überall so hoch, daß die Durchführung des Kanals keine Entwässerungsschwierigkeiten verursachte, abgesehen von dem oben erwähnten Flemhuder See, dessen Absenkung einen Ringdamm zum Hochhalten des benachbarten Grundwasserstandes nötig machte.

Kanalentwässerung und Außenwasserstände.

Die Entwässerung des schließlich den Vorfluter für bedeutende Abflußmengen bildenden Kaiser-Wilhelm-Kanals war so gedacht, daß in den Zeiten, wo der Elbwasserstand beim täglichen Tidewechsel unter dem mittleren Kanalwasserstande wäre, die Tore der beiden Brunsbütteler Schleusen offenstehen sollten, allerdings nur bis 0,5 m unter Elbe — MNW hinab, um zu starke Abflüsse und Kanalströmungen zu vermeiden. Eine Entwässerung nach Osten in die Kieler Förde entfiel außer einer geringfügigen Abführung durch die Schleusenumläufe gänzlich, indem man die beiden Ostseeschleusen, mit deren Offenlassen während der meisten Zeit man ursprünglich gerechnet hatte, wegen der infolgedessen sich einstellenden starken Kanalströmungen doch dauernd geschlossen halten mußte.

Bezogen auf „Kanalnull" = KN = — 20,00 NN sind die maßgebenden Außenwasserstände:

In der Elbe bei Brunsbüttelkoog:

HHW = + 25,01 KN
MHW = + 21,29 „ } mittlere Flutgröße = 2,87 m.
MNW = + 18,42 „ }
NNW = + 16,61 „

In der Kieler Förde bei Holtenau (Ostsee):

HHW = + 22,94 KN
MNW = + 19,77 „
NNW = + 17,68 „

Die hiernach recht beträchtlichen Schwankungen des Ostseewasserstandes in der Förde sind die Folge von Stürmen, ebenso wie die höchsten und tiefsten Elbewasserstände, und zwar in der Regel im entgegengesetzten Sinne. Die Notwendigkeit, beide Kanalenden durch Schleusen verschlossen zu halten, wird hierdurch verständlich.

Der gewöhnlich bei Holtenau zu haltende mittlere Kanalwasserstand wurde gleich dem mittleren Ostseewasserstande = + 19,77 KN festgesetzt; er sollte um höchstens 0,5 m nach oben oder unten schwanken.

Dieser Kanalwasserstand galt auch für die mit dem Kanal in unmittelbarer Verbindung stehenden Obereiderseen bei Rendsburg, während der durch eine Schleuse abgetrennte Tidefluß der Untereider bei Rendsburg folgende Wasserstandswerte aufweist:

HHW = + 22,15 KN
MHW = + 21,00 „ } mittlere Flutgröße = 1,47 m
MNW = + 19,53 „ } aus der Jahresreihe 1906—1915
NNW = + 17,79 „

Der Untereiderspiegel steht also meistens höher als der Kanalspiegel.

Schleusen und Vorhäfen

Die beiden nebeneinander liegenden Kammerschleusen, die an jedem Ende den Kanal abschließen sollten (zu Brunsbüttelkoog und Holtenau), wurden nach einem angenommenen größten „Zukunftsschiffe" von 145 m Länge, 23 m Breite und 8,5 m Tiefgang bemessen und erhielten 150 m nutzbare Länge, 25 m lichte Weite und 9,57 m Drempeltiefe in Holtenau bzw. (wegen



Abb. 4. Außenhaupt der alten Schleusen in Brunsbüttelkoog. (Blick nach der Elbe mit Elblotsenhaus.)



Abb. 5. Alte Nordschleuse in Holtenau. (Blick nach dem Kanal.)

des tieferen Elbewasserabfalls) 9,97 m Drempeltiefe in Brunsbüttelkoog (= + 10,2 m bzw. + 9,8 m KN). Als Verschlüsse gegen den Außenwasserstand wie gegen den zeitweise höheren Kanalwasserstand wurden schmiedeeiserne Stemmtore gewählt, als Umlaufverschlüsse hölzerne Rollschützen (Abb. 4 und 5).

Ferner wurden in der Mitte der Kammerlänge je zwei Paare von Sperrtoren angeordnet, deren Fläche zum wesentlichen Teile aus großen Schützafeln bestand, die ein Schließen der offenen Schleuse während ihrer Durchströmung ermöglichten. Alle diese Verschlußvorrichtungen und auch die Spille auf den Schleusenmauern wurden mit Druckwasser angetrieben.

Abgesehen von den für jene Zeit gewaltigen Abmessungen dieser Schleusenbauten ist für Holtenau insbesonders bemerkenswert, daß hier zum erstenmal die Ausführung mit Hilfe einer Grundwasserabsenkung großen Maßstabes erfolgte. Hierzu bediente man sich einiger gemauerter Senkbrunnen, bei dem gut geeigneten sandigen Baugrund trotz der unmittelbaren Nachbarschaft der Förde mit vollem Erfolge, so daß das ganze Bauwerk einschließlich der Betonsohle im Trockenen hergestellt werden konnte. In Brunsbüttelkoog führte bei den sehr viel ungünstigeren Bodenverhältnissen (starke Klaischicht) ein gleicher Versuch damals nicht zum Ziele, und beschränkte man sich auf das Auspumpen des Wassers um ein unbedenkliches Maß, worauf das Ausbaggern der Baugrube und das Betonieren der ganzen Schleusensohle unter Wasser erfolgte.

Die an die Schleusen anschließenden Außen- und Binnenvorhäfen wurden teilweise mit Kaimauern, die Einfahrt von der Elbe her durch zwei gemauerte Molen eingefaßt. Die Binnenhäfen bekamen an ihrem Südufer Gleisanschluß.

In Rendsburg wurde, als besserer Ersatz der alten, viel kleineren Schleuse daselbst, eine neue Verbindungsschleuse zur Untereider erbaut, entsprechend den beschränkten Maßen der Eiderschiffahrt mit 68 m nutzbarer Länge, 12 m lichter Weite und + 14,5 m KN Drempeltiefe (= rd. 5,0 m Wassertiefe bei Eider — MNW) und mit Handbetrieb für die beiden, als Flut- und als Ebbetor an der Untereiderseite dienenden eisernen Stemmtore; der Verschluß an der Obereiderseite wurde als ein durch den Oberwasserdruck bewegtes, nach beiden Seiten kehrendes eisernes Fächertor ausgebildet.

Die Untereider hat bei Rendsburg eine Breite von etwa 80 m und eine Fahrwassertiefe von 2,3 m bei MNW, so daß Schiffe mit 3,5 m Tiefgang bei Hochwasser in der Regel bis Rendsburg kommen können. Der Untereiderverkehr und sein Durchgang durch die Rendsburger Schleuse sind seit Vollendung des Kaiser-Wilhelm-Kanals stetig zurückgegangen.

Brücken und Fähren.

An den wichtigsten Kreuzungen der Landverkehrswege mit dem Kanal wurden eiserne Brücken errichtet:

eine einarmige Drehbrücke für die Marschbahn bei Taterpfahl (km 6),
eine Hochbrücke für die Bahn Neumünster—Heide und eine Landstraße bei Grünenthal (km 30),
drei einarmige Drehbrücken für eine Landstraße und die zweigleisige Bahn Neumünster—Rendsburg bei Rendsburg (km 60 und 62),
eine Hochbrücke für die Bahn Kiel—Flensburg und eine Landstraße bei Levensau (km 93).

Die vier Drehbrücken erhielten 50 m Durchfahrtsweite und Druckwasserantrieb, die beiden Hochbrücken wurden als Bogenbrücken ausgebildet mit 157 bzw. 163 m Stützweite und 42 m Lichthöhe der Fahrbahnunterkante über dem Wasserspiegel.

Ferner wurden als weniger wichtige Querverbindungen für Landstraßenverkehr eine Prahmdrehbrücke bei Holtenau (km 97) und einige mit Hand oder Maschinenkraft bewegte Kettenfähren eingerichtet.

Kraftwerke.

In den Kraftwerken zu Brunsbüttelkoog und Holtenau wurde durch Dampfmaschinen neben dem Druckwasser der Schleusenantriebe elektrischer Strom erzeugt, der für die Beleuchtung der Schleusenanlagen diente und, als Wechselstrom von 7500 Volt Spannung weitergeleitet, die an beiden Kanalufern in regelmäßigen Abständen befindlichen Lampen speiste. Dadurch, daß die gegenüberstehenden Lampen überall gleich weit von der Kanalmittellinie angeordnet und in den Krümmungen enger gesetzt wurden, ermöglichen sie ein sicheres Befahren des Kanals auch bei Nacht.

Nebenanlagen.

Die Werft Saatsee bei Rendsburg wurde angelegt für die Instandhaltung der zahlreichen schwimmenden Fahrzeuge und Geräte der Kanalverwaltung, insbesondere der Bagger und der Schleppdampfer, die zum Durchschleppen der vielen, der Treidelei des alten Eiderkanals beraubten Segelschiffe und zu sonstiger Schlepphilfe bestimmt waren.

Zahlreiche Hochbauten entstanden nicht nur an den Hauptstellen Brunsbüttelkoog, Rendsburg und Holtenau, sondern auch entlang der ganzen Strecke als Dienstgebäude und als Wohnungen der Beamten; unter ihnen insbesondere die beiden Hafenämter in Brunsbüttelkoog und Holtenau, die drei Kanallotsengebäude in Brunsbüttelkoog, Nübbel und Holtenau sowie das Elblotsenhaus in Brunsbüttelkoog, wohin wegen des, von nun ab hier stattfindenden Wechsels der „Böschlotsen" und der „Seelotsen" der Unterelbe die alte „Böschlotsenstation" verlegt wurde. Holtenau erhielt einen besonderen Schmuck durch die „Dankeskirche" und das neben dem Leuchtturm der Kanaleinfahrt errichtete Denkmal für Kaiser Wilhelm I.

IV. Gründe und Maß der Erweiterung des Kaiser-Wilhelm-Kanals.

Nach der Eröffnung des Kaiser-Wilhelm-Kanals (21. Juni 1895) nahm sein Verkehr rasch zu. Das erste volle Rechnungsjahr 1896 zeigte 19 960 Schiffe mit 1 848 458 N. R. T., das Rechnungsjahr 1906 aber schon 33 158 Schiffe mit 5 963 125 N. R. T., also eine Zunahme in 10 Jahren um 66 v H bzw. um 223 v H, am stärksten in der Größe der Schiffe. (1 Netto-Registertonne = 2,83 cbm nutzbarer Schiffsraum = im Mittel 1,4 Gewichtstonne Ladefähigkeit zu rechnen).

Damit waren bereits die rund 5 500 000 N. R. T. Jahresverkehr überschritten, die der Planung und der Gesetzesvorlage (1896) für den Kanal zugrunde gelegen hatten. Eine weitere schnelle Verkehrszunahme stand bei der ganzen Entwicklung der Seeschiffahrt in sicherer Aussicht. Auch die Abmessungen der Handelsschiffe wie besonders der Kriegsschiffe waren in früher nicht geahntem Maße gestiegen und in fortschreitender starker Steigerung begriffen; namentlich hatte die Zahl der größeren Dampfer sich so vermehrt, daß die Durchfahrt der vielen kleineren Schiffe dadurch empfindlich erschwert wurde und diese umgekehrt auch der Durchfahrt der größeren Dampfer oft sehr hinderlich wurden. Das im Jahre 1906 vom Stapel gelaufene englische Schlachtschiff „Dreadnought" hätte nach seiner Länge und Breite allein eine ganze Schleusenkammer des Kaiser-Wilhelm-Kanals ausfüllen und den Kanal nicht mehr befahren können. Daß diese Größenentwicklung für die anderen Kriegsflotten einschließlich der deutschen mehr oder weniger bestimmend sein würde, war leicht einzusehen. Schon die 1906 auf Stapel gelegten Schiffe der deutschen „Nassau-Klasse" waren mit 27 m Breite vom Kanal ausgeschlossen.

So mußte der Erkenntnis Raum gegeben werden, daß der Kaiser-Wilhelm-Kanal, nachdem er ein Jahrzehnt lang der deutschen Kriegsmarine gute Dienste geleistet und der deutschen und fremden Handelsschiffahrt in immer steigendem Maße reichen Nutzen gebracht hatte, der wachsenden Stärke des Verkehrs und den wachsenden Anforderungen der Schiffahrt nicht mehr voll genüge und bald immer weniger genügen würde.

Eine befriedigende Kanalerweiterung war, schon aus militärischen Gründen, unabweisbar geworden. Die Mittel zu ihr wurden auf Grund eines vom Kaiserlichen Kanalamt Kiel und im Reichsamt des Innern aufgestellten, allgemeinen Entwurfs im Jahre 1906 mit 223 Millionen GM durch Reichsgesetz bewilligt.

Die Ausführung erfolgte so weit, daß der erweiterte Kanal mit seinen neuen Schleusen auch schon für die größten neueren Kriegsschiffe benutzbar war, in den Jahren 1907—1914 (Freigabe der neuen Schleusen kurz vor Kriegsausbruch, am 24. Juni 1914, unter Teilnahme des Kaisers Wilhelm II.) unter der technischen Oberleitung des Geheimen Baurats Dr.-Ing. e. h. Hans W. Schultz von seiten des Kaiserlichen Kanalamts in Kiel und des Geheimen Oberbaurats Eich von seiten des Reichsamts des Innern; einige größere Arbeiten zogen sich, durch den Krieg 1914—1918 verzögert, bis zum Jahre 1922 hin, Restarbeiten sogar bis 1924.

Die wirklichen Erweiterungsbaukosten stellten sich wegen der starken Preissteigerung im Kriege und nach ihm höher als anschlagsmäßig; sie lassen sich infolge der „Inflationswerte" (1918—1923) zuletzt nicht mehr genau bestimmen, können aber zu insgesamt rund 237 Millionen Goldmark gerechnet werden, worin 21,2 Millionen für Grunderwerb.

Die Gesamtkosten des ersten Baus des Kaiser-Wilhelm-Kanals und des Erweiterungsbaus zusammen belaufen sich demnach auf rund 399 Millionen GM, worin 32,3 Millionen GM für Grunderwerb.

Schon diese Kostenzahlen zeigen, daß der Erweiterungsbau in seinen Ausmaßen größer war als der erste Kanalbau, zumal dank den verbesserten technischen Arbeitseinrichtungen und Geräten die hauptsächlichen Einheitspreise der Arbeiten bei ihm zum großen Teil niedriger und die Arbeitsfortschritte schneller waren. Allein die Erdarbeiten übertrafen die des ersten Baus um rd. 30 v H und die Größensteigerung der großen Kunstbauten, wie Schleusen, Brücken usw., war verhältnismäßig noch beträchtlicher.

Man hat den Eltern und Paten des ersten Kanalbaus hier und da nachsagen wollen, sie hätten weitsichtiger sein und gleich wesentlich größere Abmessungen vorsehen sollen, so daß nicht schon nach so kurzer Zeit eine so kostspielige Erweiterung notwendig geworden wäre. Man tut ihnen damit durchaus Unrecht. Sie waren zu ihrer Zeit so weitsichtig und vorsichtig, wie es damals nur irgendein Sachverständiger in der Welt nach den gegebenen und den voraussehbaren Verhältnissen sein konnte *).

*) Die gleiche Meinung äußert Professor de Thierry (Berlin) in seinem Beitrage zum XII. Internationalen Schiffahrtskongresse (Philadelphia 1912).



Abb. 6. Kanalstrecke bei Sehestedt, mit Motorfährstelle.

Die Wahl der Abmessungen und Einrichtungen, wie sie nach den Lehren der tatsächlichen Entwicklung mit einer gewissen Voraussorge für die Zukunft dem „Erweiterungsbau" gegeben worden sind, hätte zu jener Zeit als eine verschwenderische Uebertreibung erscheinen müssen — ganz abgesehen davon, daß Einrichtungen in dieser Vollendung — man denke nur an die Riesenhochbrücken — damals noch nicht möglich gewesen wären. Es wäre also doch, nach nicht viel längerem Zeitraum, eine Erweiterung etwa auf die jetzigen Abmessungen notwendig geworden; und deren Kosten hätten zusammen mit dem Mehraufwand eines ersten Kanalbaus in größerem Ausmaß sicherlich die Herstellungskosten des wirklichen Erweiterungsbaus weit überstiegen, zumal da Verzinsung und Tilgung dieses Mehraufwands in der Zwischenzeit mit einzurechnen gewesen wären. Auch wäre dann die so später einsetzende Erweiterung durch den Weltkrieg vermutlich aufs schwerste gestört oder gänzlich verhindert worden.

Der tatsächliche Entwicklungsgang des Kanals ist somit technisch, wirtschaftlich und im Erfolge der beste und glücklichste gewesen.

Der ausgeführte Entwurf der Kanalerweiterung betraf hauptsächlich Verbesserungen der Kanallinie, des Kanalquerschnitts und der Einfahrten sowie Ergänzungen und Umgestaltungen der durch den Kanal bedingten Anlagen wie Brücken, Fähren, Schöpfwerke usw. Er wurde, außer durch die Kostenfrage, durch die erschwerende Forderung, den Schiffahrtsbetrieb auch während der Bauausführung sicher aufrechtzuerhalten, stark beeinflußt. Infolgedessen verbot sich z. B. bei den Einfahrten der Umbau der vorhandenen Schleusen von selbst; es kam nur der Bau neuer Schleusen in Frage, deren Abmessungen so reichlich festzusetzen waren, daß sie auf alle Fälle für absehbare Zeiten und im Hinblick auf die für die Ostseefahrt überhaupt verwendbaren Schiffsgrößen auszureichen versprachen. Beim Kanalbett dagegen genügte es, eine dem voraussehbarem Bedürfnis reichlich entsprechende Erweiterung anzunehmen und für seine spätere, jederzeit mögliche Vergrößerung Vorsorge zu treffen.

V. Erweiterung des Kaiser-Wilhelm-Kanals und seine gegenwärtigen Hauptzüge.

Nach den Hauptmerkmalen soll nun kurz angegeben werden, worin der Erweiterungsbau des Kaiser-Wilhelm-Kanals bestanden hat und wie danach der jetzige Kaiser-Wilhelm-Kanal beschaffen ist*).

Linienführung. Die Kanallinie erfuhr keine großen Veränderungen. Um die Fahrstraße bequemer und übersichtlicher zu machen, wurden 3 Durchstiche ausgeführt, ein 2,5 km langer bei Rade, der die scharfen Krümmungen der Borgstedter Enge (zwischen Audorfer See und Schirnauer See) umgeht, und zwei kleinere zwischen Levensau und Holtenau zum besseren Ansteuern der Hochbrückendurchfahrt und der Schleuseneinfahrt; ferner wurden viele Krümmungen mit Hilfe der — zumeist einseitigen — Verbreiterung des Kanalbettes abgeflacht. Die neue Kanalmittellinie hat Krümmungshalbmesser zwischen 1800 und 6000 m, wovon indes nur 3 kleiner als 2500 m sind.

*) Vgl. W. Groth, Die Erweiterung des Kaiser-Wilhelm-Kanals, Zentralblatt der Bauverwaltung 1919, S. 366 ff. (mit Abbildungen).

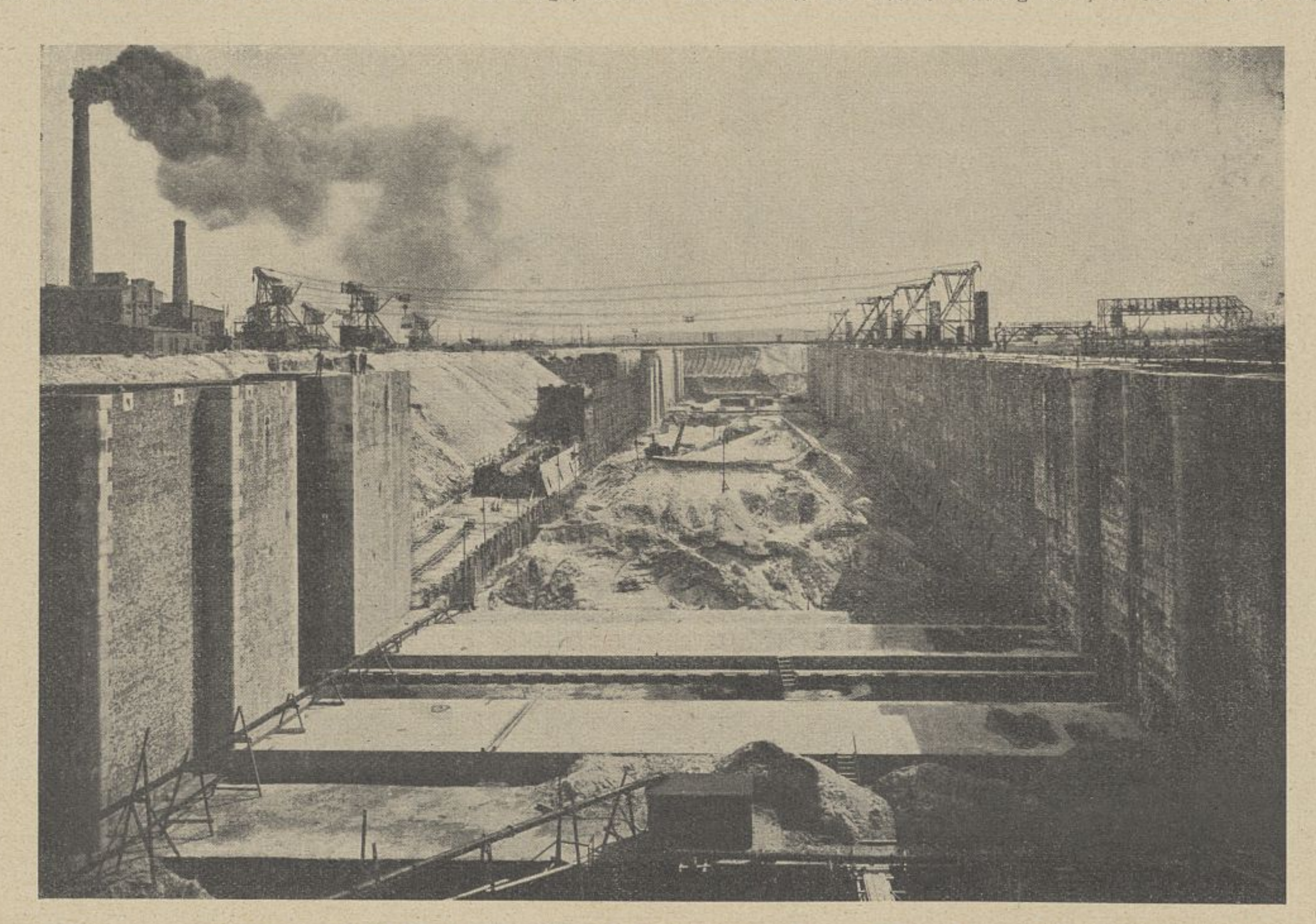


Abb. 7. Südliche neue Schleusenkammer bei Holtenau im Bau. (Mit Grundwassersenkung.)



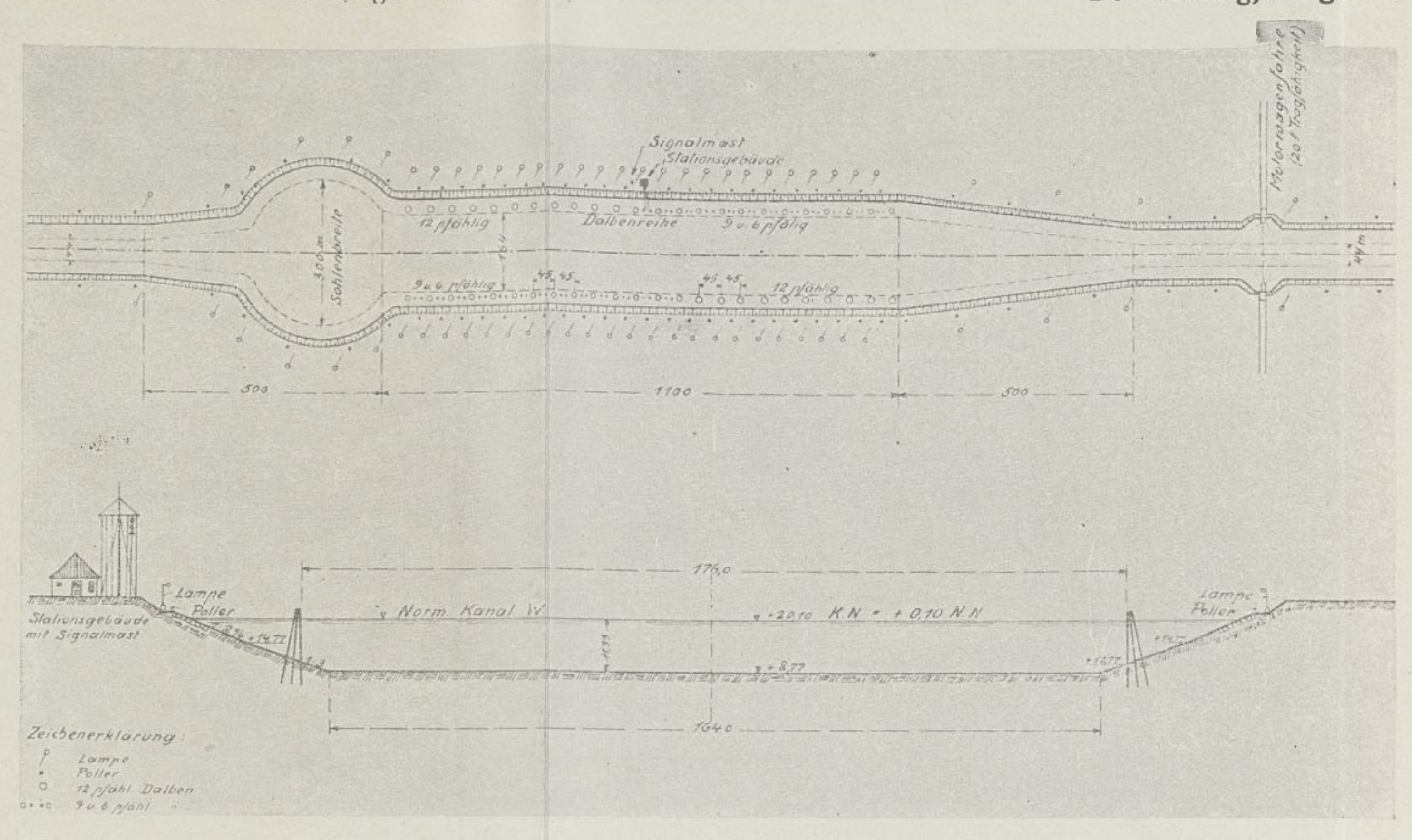


Abb. 1. Zweiseitige Ausweiche mit Wendekreis am Kaiser-Wilhelm-Kanal.

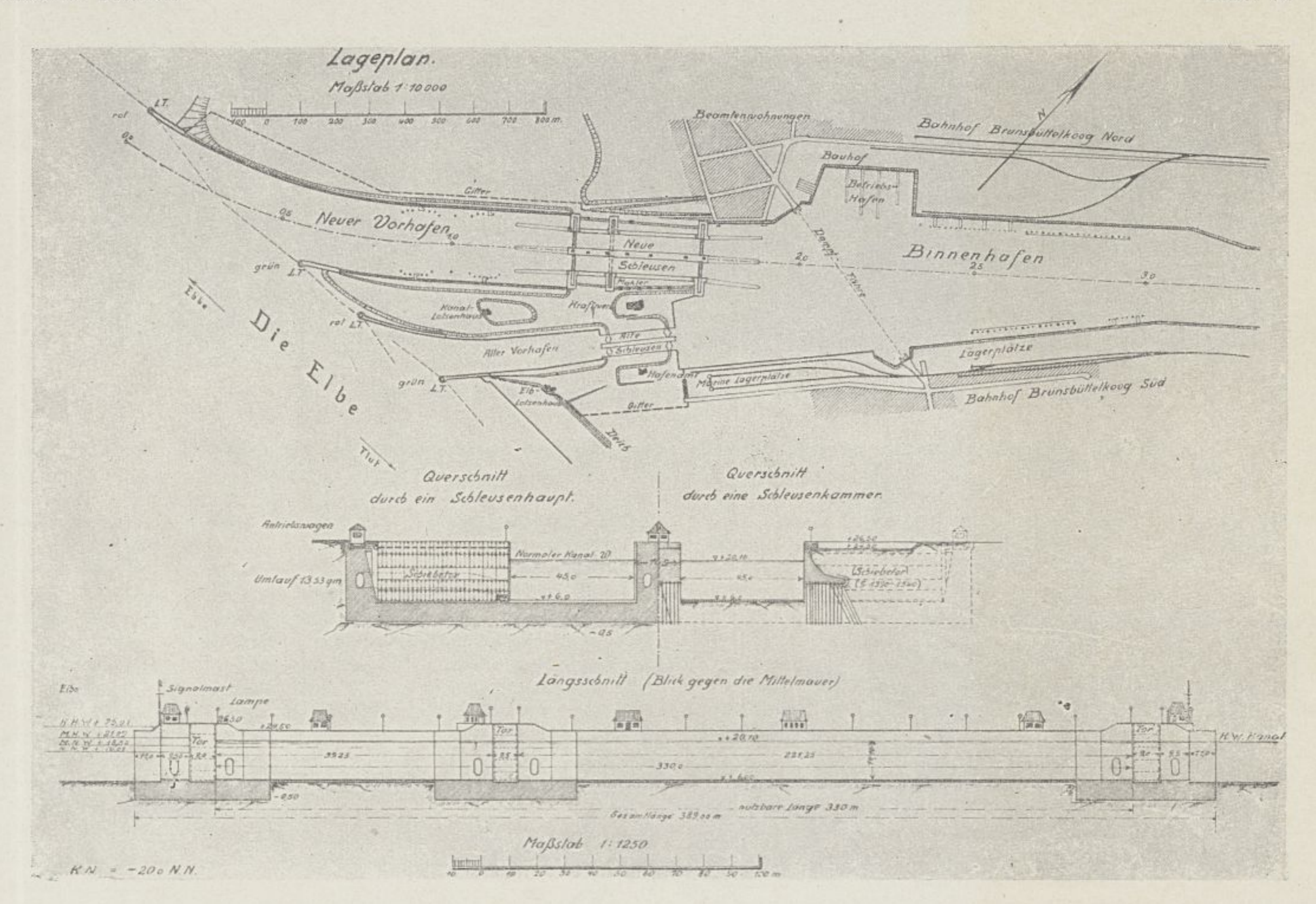


Abb. 2. Uebersicht über die Schleusen- und Hafenanlagen Brunsbüttelkoog.

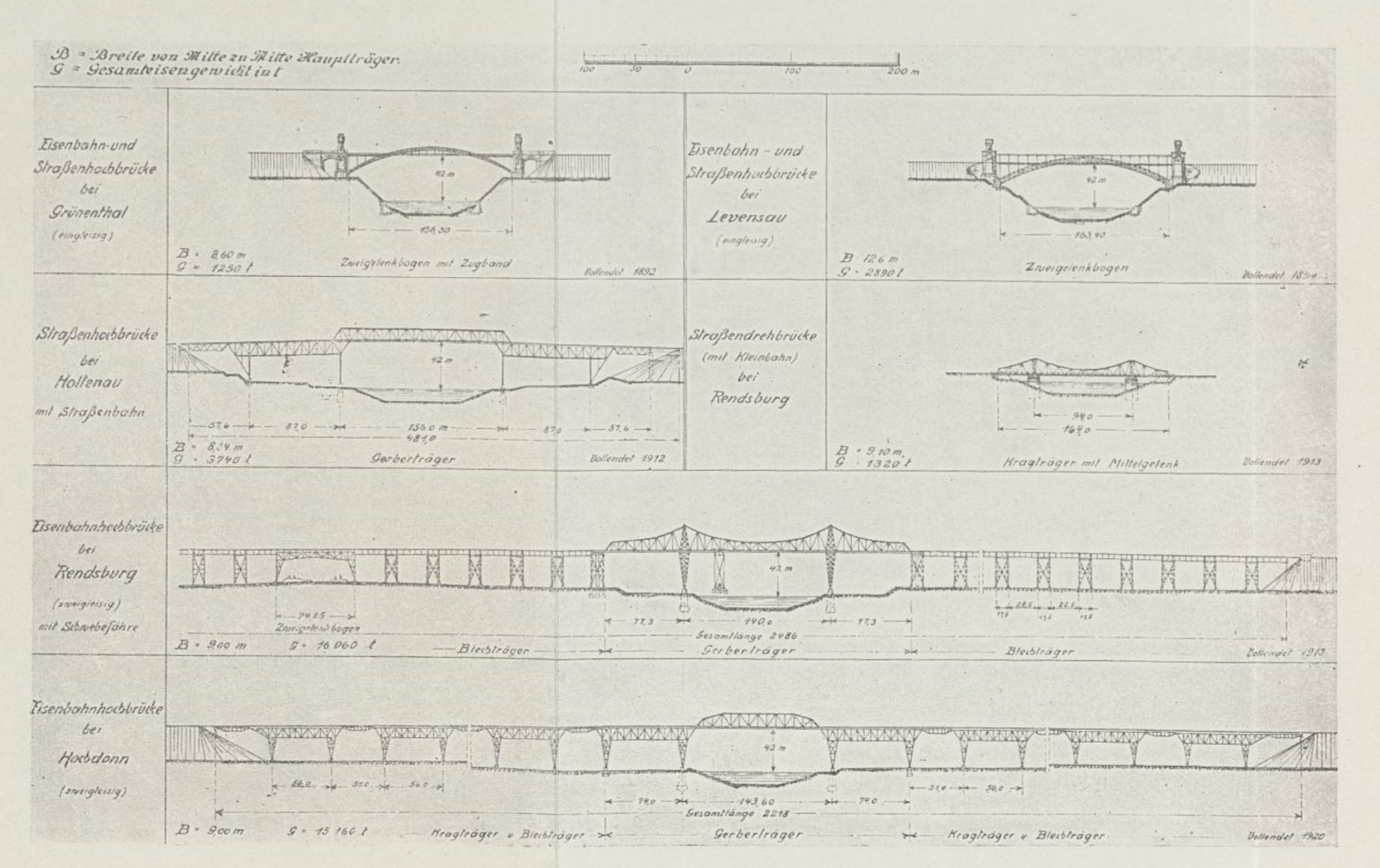


Abb. 3. Brücken über den Kaiser-Wilhelm-Kanal. M. 1 : 6000.

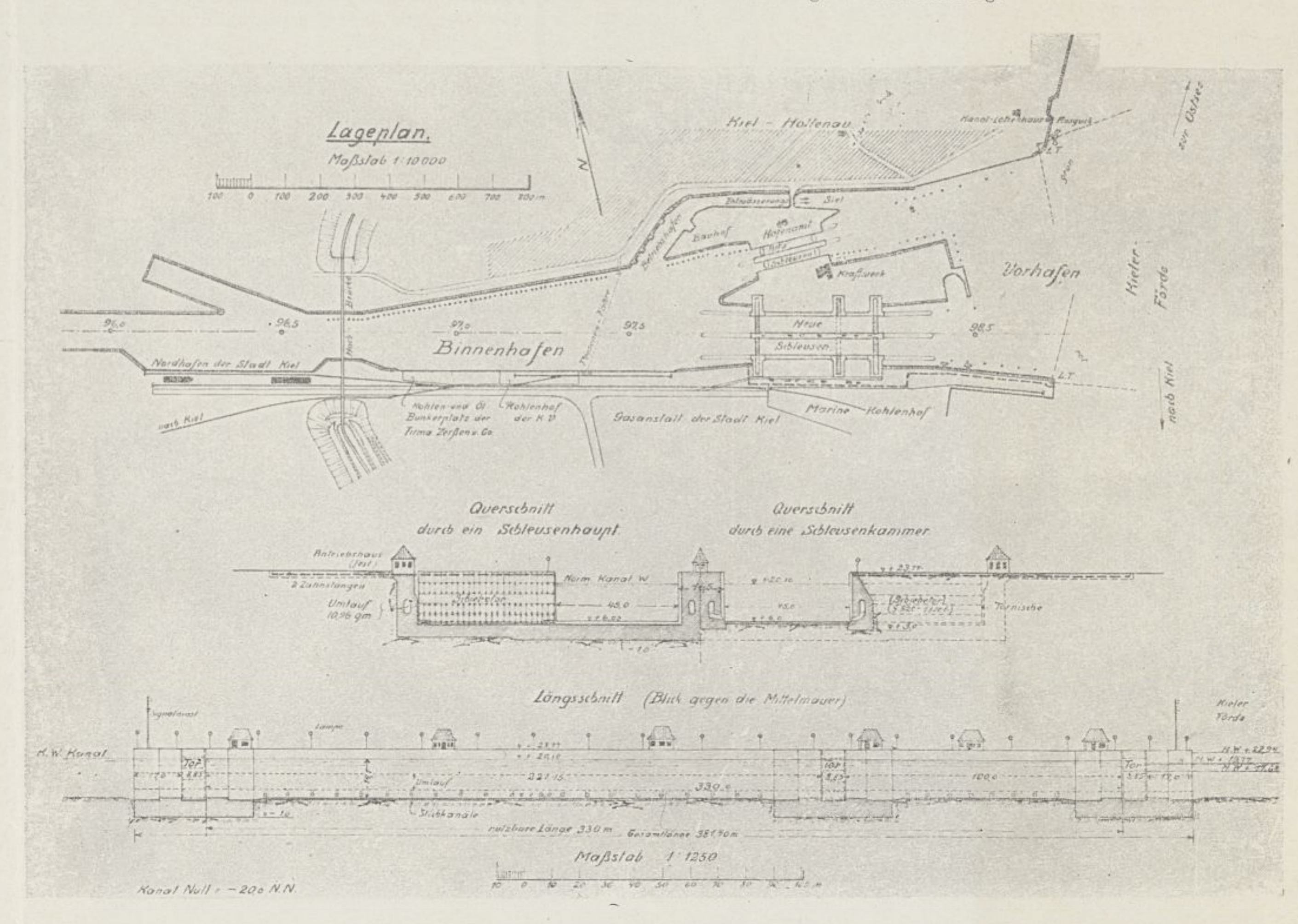


Abb. 4. Uebersicht über die Schleusen- und Hafenanlagen Holtenau.

Verlag: Guido Hackebeil A.-G., Berlin S 14.

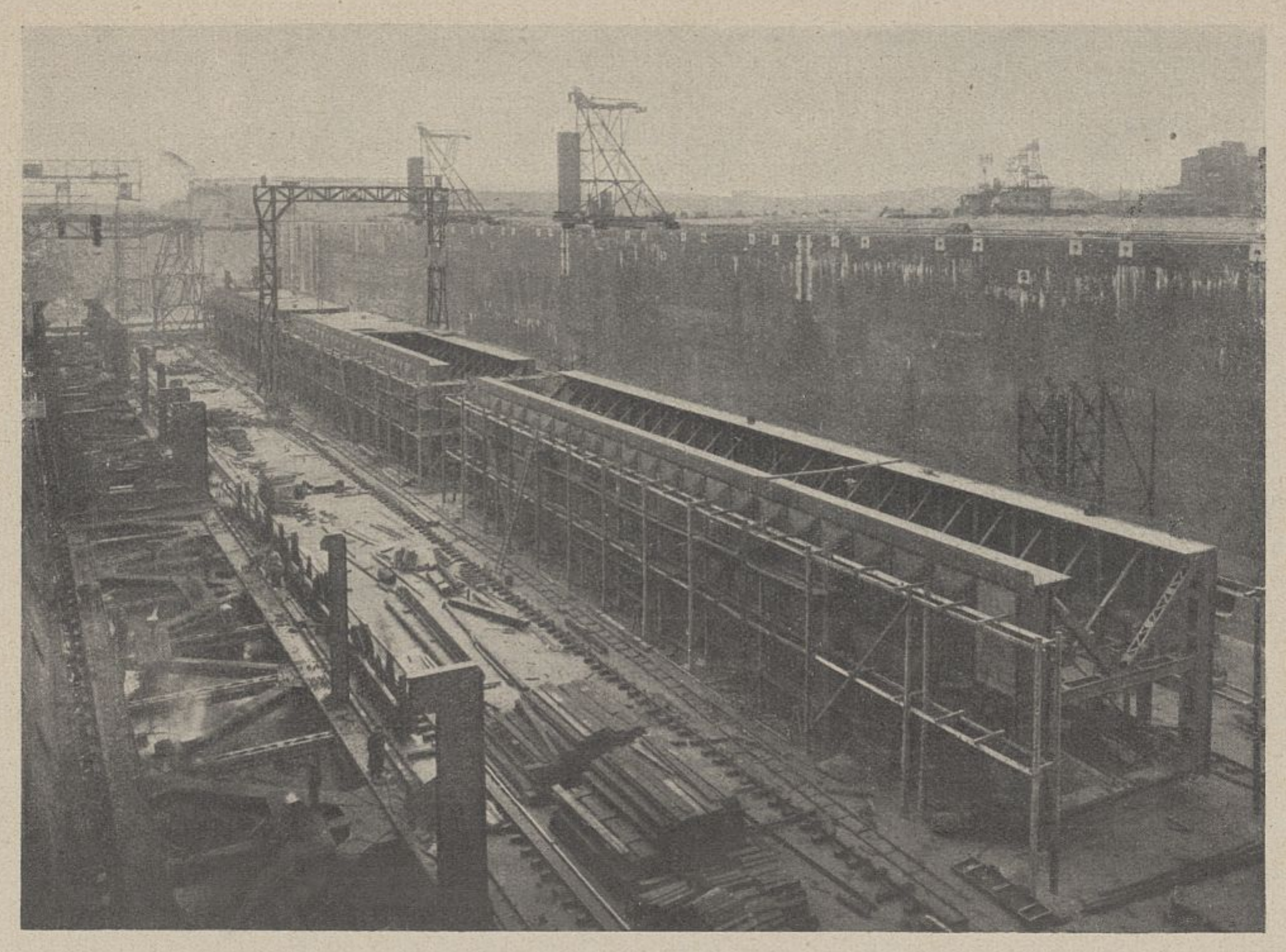


Abb. 8. Bau der 6 Schiebetore der neuen Schleusen Holtenau in einer Schleusenkammer.
(In Arbeit sind die Teile unterhalb der Schwimmkastenzone.)

Die neue Gesamtlänge von der Einfahrt an der Elbe bis zur Einfahrt an der Kieler Förde beträgt 98,7 km (Abb. 3).

Kanalquerschnitt. Die Kanalsohle ist auf 44 m verdoppelt und durchgehend auf 8,77 KN, d. h. um 2 m tiefer gelegt. Da der mittlere Kanalwasserstand um 0,33 m höher, also auf + 20,10 KN festgesetzt wurde (mit zulässigen Schwankungen von ± 0,3 m), beträgt dabei die neue Wassertiefe 11,33 m. Die neuen Kanalböschungen haben 1 : 3 auf den untersten 6 m Tiefe, darüber 1 : 2¾ bis 1 m über MKW (d. h. bis + 21,10 KN), wo eine 1 : 5 geneigte, 2,15 m breite Ueberwasserberme anschließt; in der Wellenschlagzone, von dieser Bermenkante bis 2 m unter Wasserspiegel, ist die Böschung (in der hier bewährtesten und leicht unterhaltbaren Bauweise!) mit Schüttsteinen auf Schotter gedeckt (zusammen 0,5 m stark). Hiermit ist die neue Wasserspiegelbreite = 103 m und der neue Wasserquerschnitt = 858 qm (Mindestmaße) — eine Entwicklung des alten Eiderkanalquerschnitts auf das 13,2fache innerhalb eines Vierteljahrhunderts! (Vgl. Abb. 2 auf Tafel 1.)

An Ausweichen (Abb. 1 auf Tafel 2) sind nun vorhanden: 9 zweiseitige mit 600 bis 1100 m Länge und 134 m oder 164 m Sohlenbreite, 2 einseitige mit 1400 m Länge und mindestens 89 m Sohlenbreite; die 4 Weichen mit 164 m Sohlenbreite besitzen eine 300 m Sohlendurchmesser aufweisende Wendestelle. Alle Weichen sind mit starken Dalbenreihen zum Festlegen wartender Schiffe ausgerüstet; sie werden benutzt für das Begegnen von Schiffen mit mehr als 6,1 m Tiefgang oder von sonstigen schwierigeren Transporten. Die ganze Kanalstrecke ist nach wie vor beiderseits mit elektrischen Lampen (Wechselstrom 7500 V) für den Nachtbetrieb und mit eisernen Pollern, ferner mit Fernschreib- und Fernsprechleitungen ausgestattet (Abb. 6).

Schleusen und Vorhäfen. Die neuen Doppel-



Abb. 9. Bau der Einfahrt von der Elbe zu den neuen Schleusen in Brunsbüttelkoog.
(Dahinter links die fast fertigen neuen Schleusen, rechts die noch betriebenen alten Schleusen mit ihrer Einfahrt.)

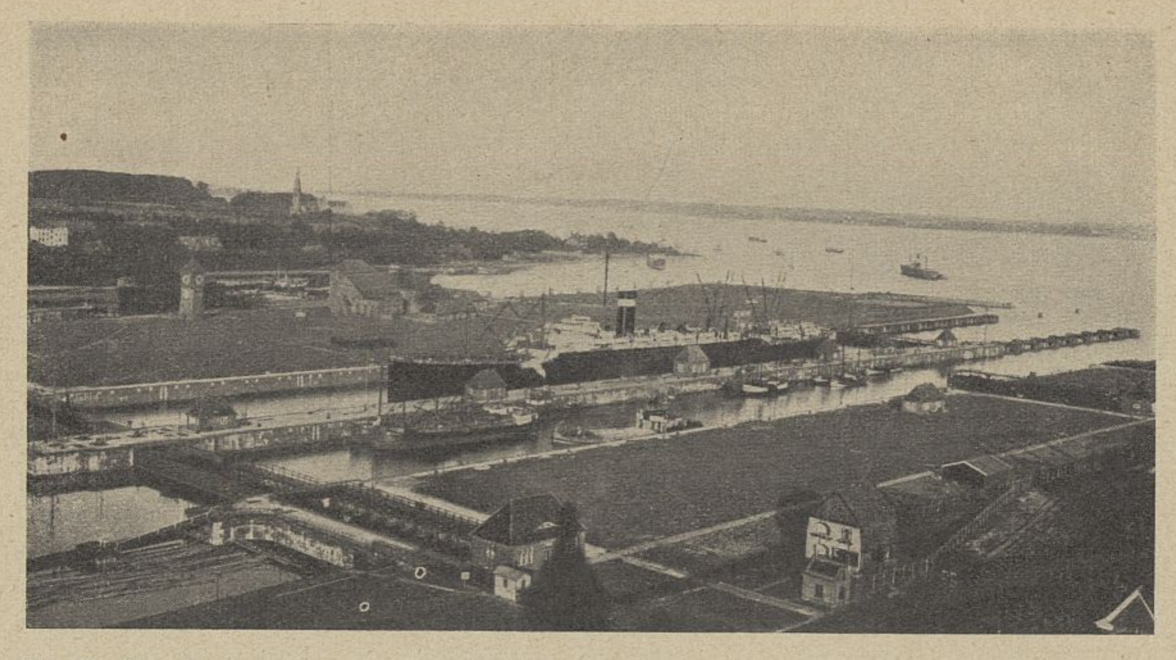


Abb. 10. Neue Schleusenanlagen bei Holtenau. (Dahinter die alten Schleusen, Holtenau und die Kieler Förde.)

schleusen liegen mit Rücksicht auf die Oertlichkeit und die Sicherheit des Einfahrens am westlichen Kanalende nördlich und am östlichen Ende südlich der alten Schleusen. Jede Schleuse hat 330 m nutzbare Kammerlänge und 45 m lichte Weite — mehr als irgendeine andere Schleuse der Welt (die Schleusen des Panamakanals haben 305 m Länge und 33,5 m Weite). Die Drempel der Schleusenhäupter und die Kammersohlen sind in Brunsbüttelkoog und Holtenau gleich tief angenommen = + 6,0 KN = 14,10 m unter mittlerem Kanalwasserstand und = 12,42 m unter Elbe — MW bzw. 13,77 m unter Ostsee — MW. Diese bedeutende Wassertiefe faßt teils eine etwaige spätere Kanalvertiefung, teils das Einlaufen beschädigter Schiffe mit vergrößertem Tiefgang ins Auge (Abb. 2 u. 4 auf Tafel 2).

Jede Schleuse ist durch 3 auf Schienen laufende, nach beiden Seiten kehrende eiserne Schiebetore (Riegelbauart) verschlossen, von denen das mittlere die ganze Kammer in 2 für sich benutzbare Abschnitte von 221 und 100 m nutzbarer Länge teilt und — da alle Tore aufschwimmfähig und flößbar sind — als Reservetor für die Endhäupter verwendet werden kann. Je 2 Schiebetore, die besonders kräftig ausgebildet sind, gestatten, an die äußeren Anschläge eines Hauptes verbracht, dieses mit seiner Tornische für sich trocken zu legen. Die Umläufe, in Holtenau auf ganze Schleusenlänge durchlaufend, in Brunsbüttelkoog nur in den Häuptern liegend (je 11 qm bzw. 13,5 qm groß), sind durch hölzerne Gleitschütze bzw. eiserne Keilrollschütze verschlossen. Alle Schiebetore und Schütze werden elektrisch angetrieben und von einem auf der Mittelmauer stehenden Zentralsteuerhause aus gesteuert.

Die Schleusenhäupter sind massiv mit 7 m starker Betonsohle gebaut, die nicht nur in Holtenau, wo guter Sandboden sehr hoch ansteht, sondern auch in Brunsbüttelkoog auf dem dort sehr tief liegenden tragfähigen Sandbaugrunde aufruht. Die Schleusenkammern dagegen besitzen nur eine gepflasterte Sohle, da auf ihre Trockenlegung verzichtet wird, und sind durch tiefgegründete Mauern eingefaßtt — in Holtenau bei den sehr günstigen Bodenverhältnissen durch ganze Betonmauern, in Brunsbüttelkoog bei den viel ungünstigeren Bodenverhältnissen durch obere Betonmauern auf hohem und breitem Pfahlrost mit vorgesetzter Eisenspundwand und Eisenbetonschürze. So ähnelt jede Schleusenkammer einem durch Ufermauern eingefaßten Hafenbecken. Die Schleusenbauten erfolgten ohne Störungen in trockener Baugrube mittels Grundwassersenkung, obschon in Brunsbüttelkoog der stark klaihaltige Boden mit Ausnahme der untersten Schichten dafür wenig geeignet war und in Holtenau die über 20 m tiefe Baugrube dicht neben dem alten Kanalbett und der Kieler Förde lag (Abb. 7 u. 8).

Die Schleusenbauten erforderten in Brunsbüttelkoog 480 000 cbm, in Holtenau 416 000 cbm Beton- und sonstiges Mauerwerk, in Brunsbüttelkoog außerdem rund 14 000 cbm Rund- und Schnittholz für die Pfahlroste und Spundwände; ferner in Brunsbüttelkoog rund 1580 t Eisenspundwände und 2320 t Eisen für Pfahlroste und Eiseneinlagen = zusammen 3900 t Eisen, in Holtenau 1440 t Eisen für Einlagen. Die 8 m breiten Schiebetore haben mit ihren 47 m Länge und 18,5 bis 21,3 m Höhe eine Wandfläche, die der Front eines großstädtischen Warenhauses gleichkommt, und mit ihrem Eisengewicht von rund 920 t (Holtenau) bis 1500 t (Brunsbüttelkoog) übertreffen sie das Eisengewicht der Kanal-Hochbrücke von Grünenthal (1250 t). Diese Zahlen in Verbindung mit der Angabe, daß der gesamte Bodenaushub des Erweiterungsbaus 110,1 Millionen Kubikmeter (gegen 82,2 Millionen Kubikmeter des ersten Baus) umfaßt hat, mögen eine Vorstellung von den Größenverhältnissen der Kanalerweiterung geben.

Die Einfahrten in die neuen Schleusen bedingten eine beträchtliche Erweiterung der Binnenvorhäfen, die teilweise mit neuen Ufermauern eingefaßt worden sind.

In Holtenau bildet der erweiterte Außenvorhafen eine große Wasserfläche, in der auch der alte, durch eine südliche Neuanlage ersetzte Marinekohlenhof, verschwunden ist. Der neue Außenvorhafen in Brunsbüttelkoog ist dagegen getrennt von dem alten Vorhafen angelegt und wie dieser von elbabwärts gekrümmten Molen begrenzt, die ebenso wie die alten Molen auf ihren Köpfen Leuchtfeuer tragen und deren massiver Oberteil auf hohem Pfahlroste ruht (Abb. 9 u. 10).

Brücken und Fähren. In sehr erheblichem Maße sind die Anlagen für die Ueberführung des Landverkehrs über den Kanal umgestaltet worden (Abb. 3 auf Tafel 2). Die eisernen Hochbrücken bei Grünenthal (km 30, für die Eisenbahn Neumünster — Heide und eine Landstraße) sowie bei Levensau (km 95, für die Eisenbahn Kiel — Flensburg und eine Landstraße) konnten zwar bestehen bleiben, indem der erweiterte Kanalquerschnitt sich mit Hilfe von Ufermauern noch unter ihnen durchführen ließ (Abbildung 11). Dagegen hat die Rücksicht auf größere Beschleunigung und Sicherung des Schiffs- und Bahnverkehrs alle Eisenbahndrehbrücken und die Prahmdrehbrücke Holtenau zum Verschwinden gebracht und durch Hochbrücken ersetzt, deren 140 bis 156 m weit gespannte Hauptöffnung 42 m Lichthöhe über dem Kanalspiegel hat, ebenso wie die beiden älteren Hochbrücken. Es sind dies die 3 Hochbrücken:



Abb. 11. Alte Eisenbahn- und Straßenhochbrücke bei Grünenthal. (Schleppen eines Schwimmkranes im erweiterten Kanal.)

bei Hochdonn (km 18) (Abb. 12), als letzte der Brücken 1920 vollendet, für die zweigleisige Marschbahn, die zur Gewinnung einer günstigen Baustelle um rd. 12 km östlich hierher verlegt werden mußte, und in Wilster und St. Michaelisdonn von der alten Linie abzweigt, mit neuen Bahnhöfen in Vaale und Burg i. D. und mit Stichbahnen nach den Bahnhöfen Brunsbüttelkoog-Süd (alt) und -Nord (neu);

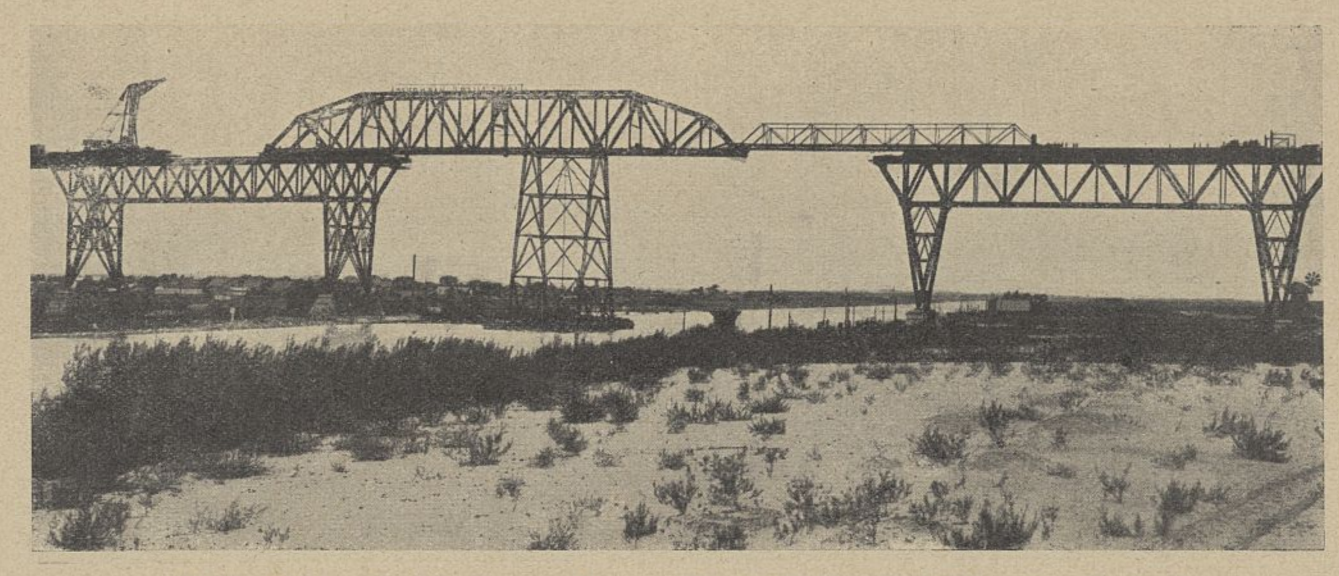


Abb. 12. Einfahren des Schwebeträgers der neuen Eisenbahn-Hochbrücke Hochdonn über dem Kanal. (Verschieben in der Brückenlinie mit Hilfe eines Prahmgerüstes.)

bei Rendsburg (km 62) (Abb. 13) für die zweigleisige Bahn Hamburg—Neumünster—Flensburg (auch eine Schwebefähre tragend), mit einer bedeutenden Aenderung der Bahnlinie zwischen Bokelholm und Rendsburg verbunden, da nur so und mit Hilfe einer sich selbst schneidenden Schleife der Bahn der große Höhenunterschied zwischen der Hochbrücke und dem sehr nahe liegenden Bahnhof Rendsburg überwunden werden konnte;

bei Holtenau (km 96) für die Landstraße Kiel—Holtenau und die Straßenbahn.

Alle 3 neuen Hochbrücken erforderten bedeutende Rampendämme, am gewaltigsten auf den Niederungsflächen bei Hochdonn und Rendsburg. Hier erstrecken sich zwischen Dammkopf und Kanalbrücke auf beiden Ufern außerdem gewaltige eiserne Rampenbrücken auf hohen eisernen Pfeilern, so daß sich als Gesamtlänge des Eisenbauwerks in Hochdonn 2,218 km und in Rendsburg 2,486 km ergeben. Damit erhebt sich die Hochbrücke Rendsburg zur größten eisernen Eisenbahnbrücke von Europa.

Nur eine Drehbrücke führt noch über den Kaiser-Wilhelm-Kanal, als größerer und besserer Ersatz für die alte Rendsburger Straßendrehbrücke (km 60) neu erbaut, zugleich einer Kleinbahn dienend. Diese elektrisch angetriebene Drehbrücke ist zweiflügelig und mit 94 m Stützweite (82 m Lichtweite zwischen den Drehpfeilern) das bedeutendste derartige Bauwerk in Europa (Abb. 14).

Die am Kaiser-Wilhelm-Kanal vorhandenen Brücken haben folgende Eisengewichte:

Hochbrücke Hochdonn (2218 m lang)	15 160 t
„ Grünenthal (163 m lang)	1 250 t
„ Rendsburg (2486 m lang)	16 060 t
„ Levensau (179 m lang)	2 890 t
„ Holtenau (481 m lang)	3 740 t
Straßendrehbrücke Rendsburg (164 m lang) .	1 320 t
Zusammen	40 420 t

Die zahlreichen Fähren am Kaiser-Wilhelm-Kanal sind jetzt als Kettenfähren mit Antrieb durch je 2 Dieselmotoren ausgebildet, ausgenommen die Wagenfähre Brunsbüttelkoog, wegen des überquerten breiten Binnenhafens eine große doppelte Dampffähre, und die Eisenbahntrajektfähre Rade, die als freifahrende Motorfähre ausgebildet ist und den Bahnanschluß der zwischen dem neuen Rader Durchstich und der Borgstedter Enge entstandenen Insel vermittelt. Eine Wagenfähre besonderer Art ist die an den Untergurtträgern der Kanalöffnung der Hochbrücke Rendsburg hängende, elektrische Schwebefähre.

Kraftwerke und Entwässerungsanlagen. An Stelle der mit Dampf betriebenen Kraftwerke des alten Kaiser-Wilhelm-Kanals sind vermehrte und vergrößerte elektrische Kraftwerke getreten, die durchweg mit Dieselmaschinen betrieben werden. Der in den großen Kraftwerken Brunsbüttelkoog und Holtenau erzeugte Kraft- und Lichtstrom (Maschinenstärke 1020 bzw. 860 PS) dient für die Schleusenanlagen — einschließlich des Antriebes der Druckwasseranlage der alten Schleusen — und für die zahlreichen reichseigenen Gebäude sowie für die beiderseitige Uferbeleuchtung längs der ganzen Kanalstrecke, der im Kraftwerk Saatsee erzeugte Strom (Maschinenstärke 300 PS) für die wesentlich vergrößerte Werft Saatsee bei Rendsburg sowie für die Straßendrehbrücke und die Schwebefähre daselbst.

Zwei weitere Kraftwerke in Kudensee (km 6) und Oldenbüttel (km 39) sind — abgesehen von der durch das erstere bewirkten Wasserversorgung von Brunsbüttelkoog — lediglich zur Stromversorgung für 16 Schöpfwerke bestimmt (Maschinenstärke 635 bzw. 425 PS) (Abb. 15).

Auf diese Weise ist die, vor der Kanalerweiterung zum Teil unbefriedigende, künstliche Entwässerung der vom Kanal durchschnittenen Niederungsgebiete, soweit nicht eine sichere natürliche Vorflut gegeben war, großzügig ausgebaut und verbessert

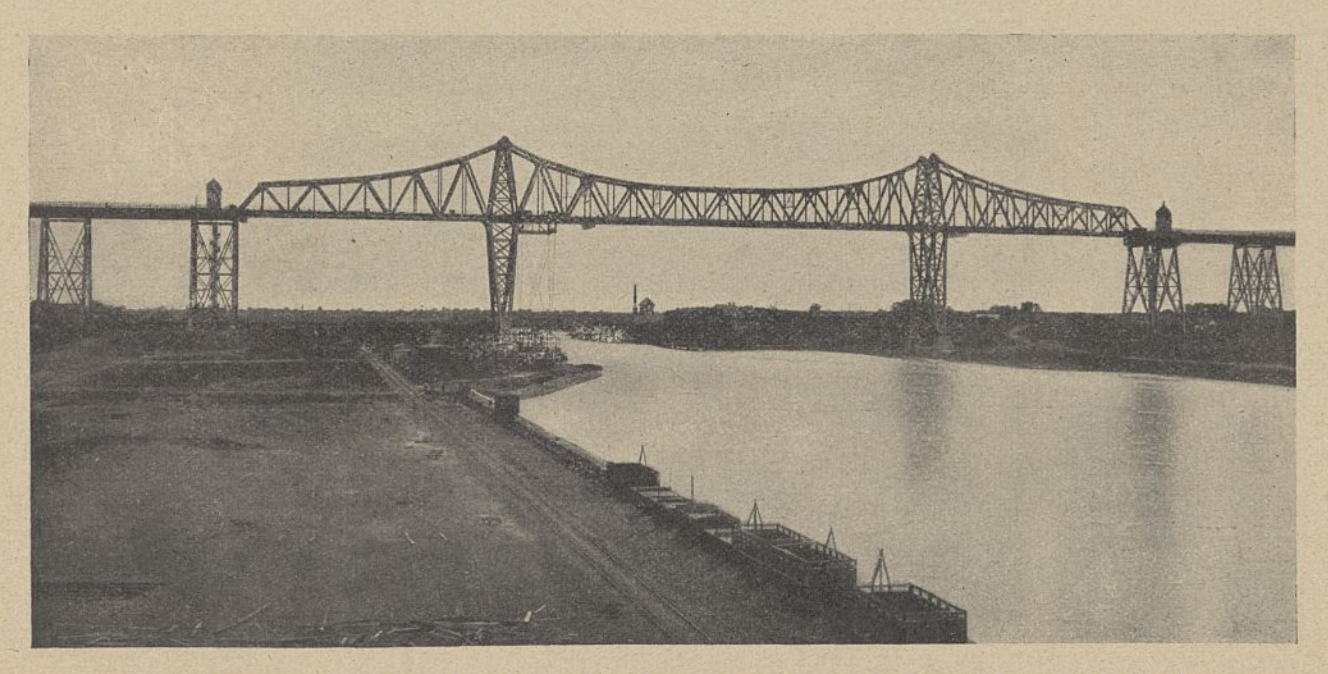


Abb. 13. Neue Eisenbahn-Hochbrücke bei Rendsburg. (An der Fahrbahn hängend die Schwebefähre.)

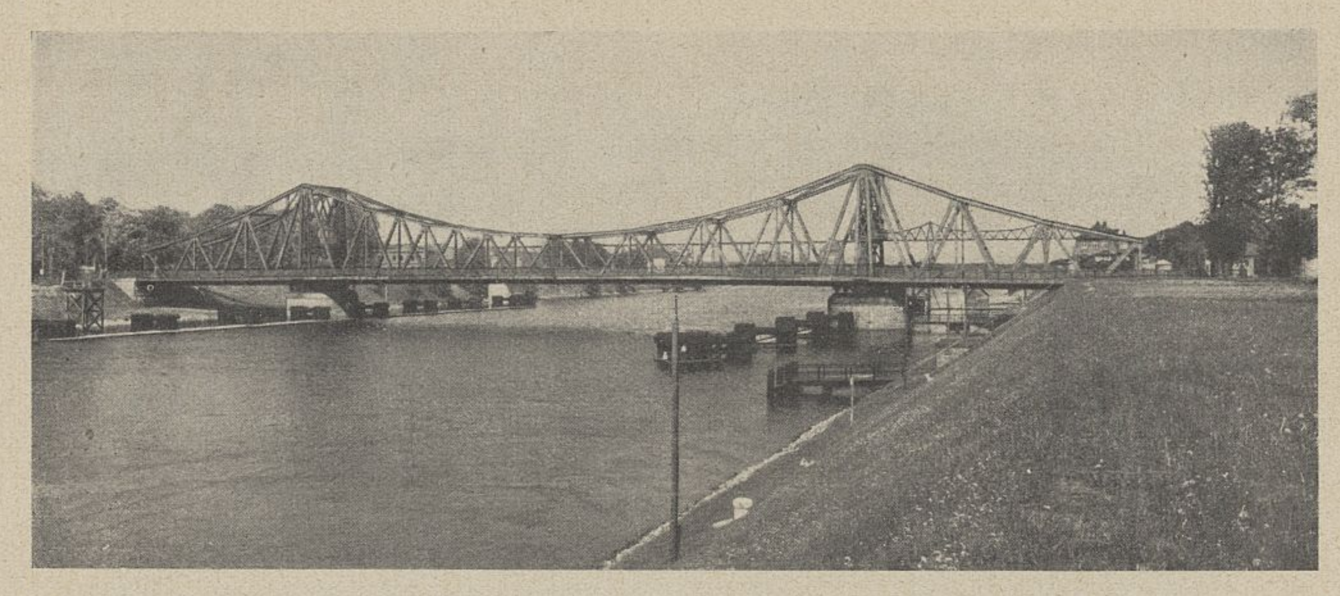


Abb. 14. Neue Straßen-Drehbrücke bei Rendsburg. (Dahinter die Hochbrücke sichtbar.)

worden. Die elektrischen Schöpfwerke haben selbsttätige Ein- und Ausschaltung der Kreiselpumpenmotoren und elektrische Fernmeldung des Wasserstandes nach dem zugehörigen Kraftwerk hin. Sie haben 2 bis 200 PS Motorenleistung, die meisten 20 bis 50 PS, und heben das Wasser 0,4 bis 2,8 m hoch. Zum Kraftwerk Kudensee gehören die 112,3 qkm großen Flächen des Elbegebietes (westlich der Wasserscheide bei Grünenthal) mit 9 Schöpfwerken, zum Kraftwerk Oldenbüttel die 99,5 qkm großen Flächen des Eidergebietes (östlich der genannten Wasserscheide) mit 7 Schöpfwerken, zusammen 211,8 qkm künstlich entwässerte Flächen; von diesen ist die größte, die Burg-Kudenseer Niederung, 77,7 qkm und die kleinste 0,12 qkm groß.

Der vom ersten Kanalbau her bestehende „Ringkanal“ am Flemhuder See ist an dessen Ostseite, da der See durch Einschütten von Baggerboden des Erweiterungsbaus fast ganz ausgefüllt und die freilich sehr unbedeutende Kleinschiffahrt auf ihm nach Flemhude—Achterwehr dadurch gehindert wurde, zu einem Kleinschiffahrtskanal ausgebaut und mit dem Kaiser-Wilhelm-Kanal (km 85) bei Strohbrück durch eine kleine, von Hand betriebene Kammerschleuse mit 6,5 m Gefälle verbunden. Neben ihr fließt das vom Westensee durch den Ringkanal kommende Eiderwasser teils durch ein kleines privates Kraftwerk, teils über ein Ueberlaufwehr in den Kinser-Wilhelm-Kanal.

Die übrigen, kleineren Schiffahrtschleusen, die schon beim ersten Kanalbau zum Anschluß der schiffbaren Entwässerungszüge errichtet worden waren (Bütteler Kanalschleuse, Wilsterauschleuse, Burgerauschleuse, Haalerauschleuse), sind bei der Kanalerweiterung teils verlegt, teils besser ausgebaut worden.

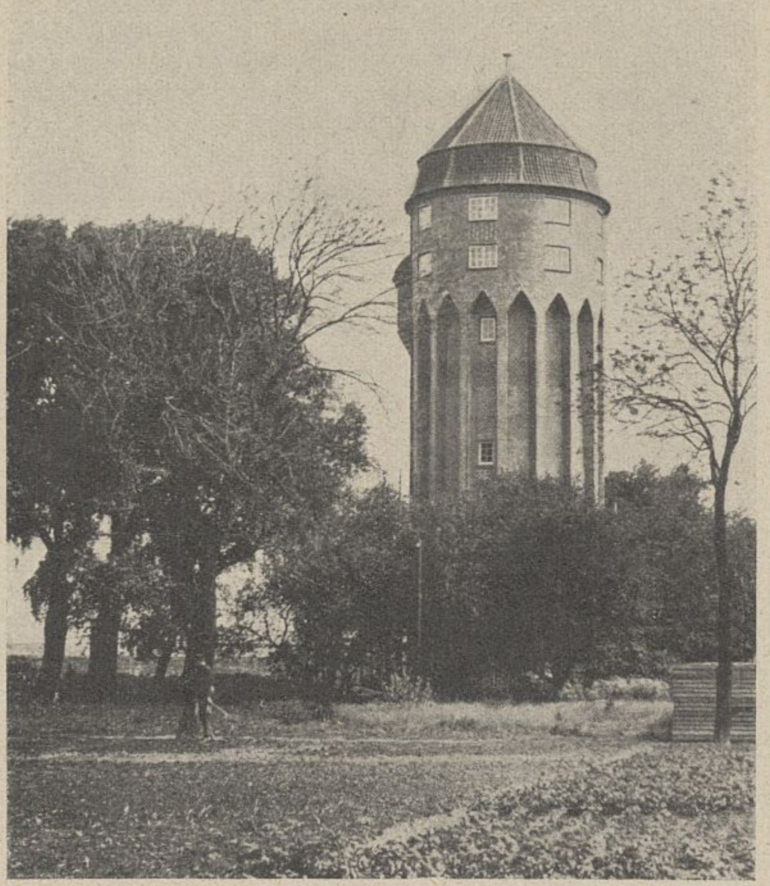


Abb. 15. Wasserturm in Brunsbüttelkoog.

Die Abführung des dem Kaiser-Wilhelm-Kanal aus einem Zuflußgebiet von 14 067 qkm zugeführten Wassers geschieht jetzt hauptsächlich durch ein elektrisch betriebenes, für 44 cbm/sek berechnetes Entwässerungssiel bei Holtenau mit 2, je 8,5 m weiten Schützöffnungen in die Kieler Förde hinein und wird durch Entwässerungen mittels der alten und neuen Schleusenumläufe in Brunsbüttelkoog bei günstigen Elbwasserständen unterstützt. Die früher geübte Entwässerung durch die alten Brunsbütteler Schleusenkammern ist wegen ihrer Nachteile ganz aufgegeben worden.

Nebenanlagen. Eine sehr umfangreiche Hochbautätigkeit wurde durch die Kanalerweiterung veranlaßt, teils zum Ersatz der vielen Gebäude an der Strecke und in Brunsbüttelkoog, die ihr unmittelbar zum Opfer fielen, teils zur Unterbringung des starken Zuwachses an Beamten für den Kanalbetrieb. Hierbei wurde sowohl auf zweckmäßige Gestaltung wie auch auf entsprechendes Aussehen in Anlehnung an die heimische Bauweise Bedacht genommen. Das Elblotsenhaus in Brunsbüttelkoog und das Kanallotsenhaus in Nübbel mußten erweitert werden. Für die Gemeinde Brunsbüttelkoog wurde eine neue Kirche errichtet, ihr auch das für die Bauzeit angelegte Krankenhaus überlassen. Der Umfang des der Kanalverwaltung gehörigen Hochbaubestandes geht daraus hervor, daß — außer den vielen Betriebs-, Magazin- und Werkstattgebäuden u. dgl. — 180 Verwaltungs- u. Wohngebäude vorhanden sind, einschließlich des neu errichteten Reichskanalamts in Kiel.



An der tiefen und belebten Seeverkehrsstraße, die der Kaiser-Wilhelm-Kanal ist, haben sich im Laufe der Jahre zahlreiche kommunale und private Verkehrsanlagen und Industriewerke angesiedelt. Erwähnenswert sind namentlich: lich: die Kieler Gas- und Elektrizitätswerke; der Nordhafen der Stadt Kiel am Südufer des Binnenhafens Holtenau, ausgestattet mit einer 500 m langen Kaimauer (Verlängerung um 500 m ist eingeleitet) für 8 m Wassertiefe, mit Ufergleisen, Kränen, einem 12 000 t fassenden Getreidespeicher und einem Lagerhause; der ähnlich ausgestattete Kreishafen Rendsburg am nördlichen Kanalufer; die Eisenhütte Holstein: die Düngerfabrik und die Werft Nobiskrug, eine Kalksandsteinfabrik u. a. m. am Audorfer See und bei Rendsburg; zwei Bunkeranlagen in Brunsbüttelkoog und eine dritte in Holtenau, ausgerüstet mit Kohlenverladebrücken, zum Bebunkern der durchfahrenden Schiffe mit Kohlen und Oel, wovon reichlich Gebrauch gemacht wird.

(Schluß folgt.)

Die Wassermengenmessungen an der ehemals preußischen Weichsel, insbesondere die Messung des Frühjahrs-Hochwassers 1924.

Von Regierungs- und Baurat **G. E. Schmidt**, Hafenoberbaurat in Danzig,
und Regierungsbaumeister **H. Fentzloff** in München.

Die an fast allen Stromgebieten der norddeutschen Tiefebene aufgetretenen folgenschweren und beklagenswerten Hochwassererscheinungen des Frühjahrs 1924 haben erneut die Aufmerksamkeit nicht nur der Flußbauingenieure, sondern auch weiter Kreise der von Deichbrüchen und Ueberschwemmungen heimgesuchten Bevölkerung auf die mit der Wasserführung unserer Flüsse und Ströme zusammenhängenden wasserbautechnischen Fragen gelenkt. Wieder wurden berechtigte Forderungen nach erhöhter Sicherung der Deiche und dem Schutze der bedrohten Niederungen laut. Ist es doch zweifellos in den meisten Fällen wirksamer und wirtschaftlicher, durch vorbeugende Maßnahmen Hochwasserkatastrophen zu verhüten, als sich nur von Fall zu Fall auf die Beseitigung örtlicher Hochwasserschäden zu beschränken. Es gilt also, durch die Errichtung oder den weiteren Ausbau eines einheitlichen geschlossenen Deichsystems, sowie durch immer vollkommenere Regelung des Hauptstromes und seiner Nebenflüsse gegen die von Zeit zu Zeit doch wiederkehrende Hochwassergefahr eine grundlegende Abhilfe zu schaffen.

Bei der Ausarbeitung eines derartigen Gesamtplanes bildet naturgemäß die Größe der bei höchstem Hochwasser vom Strome abgeführten Wassermenge — der Wert Q_{max} in m³/sek — die wichtigste Grundlage für die durch hydraulische Berechnungen zu ermittelnden Abmessungen des Hochwasserbettes, sowie des gegenseitigen Abstandes und der Kronenhöhe der Deiche. Es dürften daher gegenwärtig in Fachkreisen Mitteilungen über Wassermengenmessungen an dem zweitgrößten Strome der norddeutschen Tiefebene, der Weichsel, einem besonderen Interesse begegnen, insbesondere die Schilderung der Messung des katastrophalen Frühjahrshochwassers 1924 willkommen sein.

Bekanntlich ist durch den Friedensvertrag von Versailles der Unterlauf der früher preußischen Weichsel von der ehemaligen Landesgrenze ab — etwa 18 km oberhalb von Thorn — bis zur Abzweigung der Nogat bei Montauerspitze Polen zugesprochen worden. Von hier ab liegt das rechte Ufer und, etwa 6 km unterhalb Dirschau beginnend, auch das linke Stromufer bis zur Mündung der Weichsel in die Ostsee im Gebiet der Freien Stadt Danzig. (Abb. 1.) Die Aufsicht und Verwaltung dieser Mündungsstrecke untersteht seit dem 1. Juni 1921 dem „Ausschuß für den Hafen und die Wasserwege von Danzig".

I. Aeltere Wassermengenmessungen.

a) Flügelmessungen.

Zuverlässige Angaben über ältere Messungen sind nur in sehr beschränktem Umfang vorhanden. Die ersten Hinweise auf Messungen der Wassermenge stammen aus dem Jahre 1829, in dem der Geh. Oberbaurat Severin einen allgemeinen Entwurf der Regulierung der Weichsel im preußischen Gebiet aufgestellt hat. In den folgenden Jahren wurden an verschiedenen Stellen zwischen Culm und Schwetz durch die zuständigen Deichinspektoren nach genauer Vorschrift von Severin Messungen ausgeführt, deren Ergebnisse überliefert sind. Diese Messungen sind bereits mit dem Woltmannschen Flügel ausgeführt, dessen Zählwerk mittelst Zug an einer Schnur ein- und ausgerückt wurde. Die Meßlotrechten lagen in Abständen von 34,0 bis 38,0 m. Als mittlere Geschwindigkeit in der Lotrechten wurde die Geschwindigkeit angenommen, welche sich aus dem arithmetischen Mittel der in Tiefen von 1 Fuß, 2 Fuß, 3 Fuß usw. gemessenen Geschwindigkeiten ergab. Der nicht frei

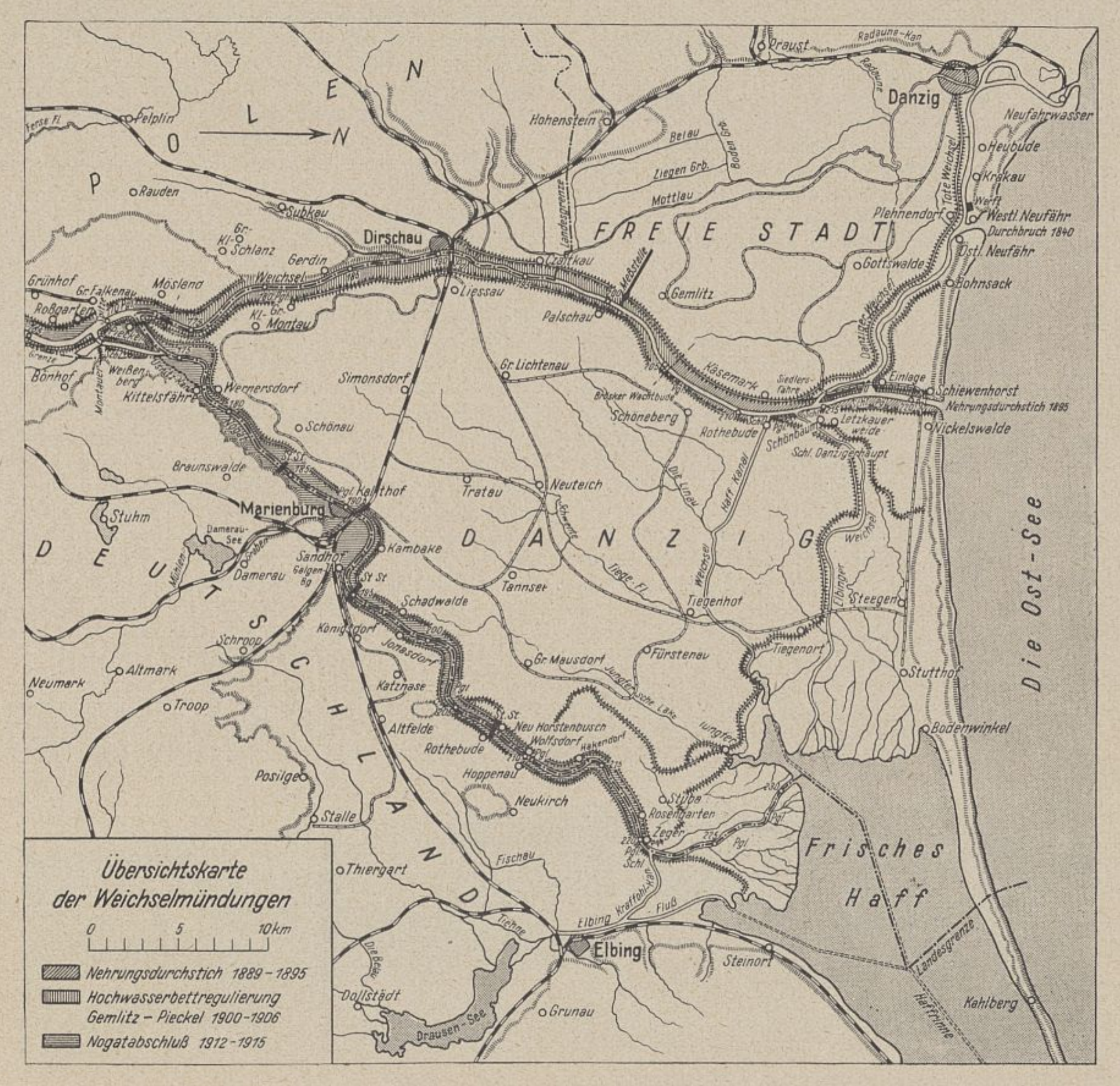


Abb. 1.

um seine Höhenachse schwingende Flügel wurde stets parallel zum Stromstrich eingestellt, wodurch er etwas zu große Werte für die Wassermenge lieferte. Immerhin wurden schon damals beispielsweise für die charakteristischen Wasserstände MNW und MW, bezogen auf den Pegel Kurzebrack, Werte erhalten, die sich annähernd mit den heute gültigen Angaben decken, nämlich

371 cbm/sek bei + 0,31 m am Pegel Kurzebrack,
908 cbm/sek bei + 1,75 m am Pegel Kurzebrack.
Es ist: MNW (1910/19) = + 0,42 m am Pegel Kurzebrack,
MW (1910/19) = + 1,85 m am Pegel Kurzebrack.

Vergleichsweise sei erwähnt, daß man neuerdings mit folgenden Abflußmengen der Weichsel rechnet:

bei MNW . . . . . 400 cbm/sek,
bei MW . . . . . 1010 cbm/sek.

Vergleiche die „Wasserwirtschaft Deutschlands und ihre neuen Aufgaben". — 1921 —, Band I, Seite 80.

Seit 1837 liegen Messungsprotokolle mit Geschwindigkeits- und Wasserstandsangaben vor, die zunächst fast ausschließlich in unmittelbarer Nähe von Montauerspitze ausgeführt und daher auf diesen Weichselpegel bezogen wurden. Es sind folgende Gruppen von Messungen zu unterscheiden:

a) die Flügelmessungen vor Eröffnung des Weichsel—Nogat-Kanales von 1837 bis 1853,
b) die Flügelmessungen nach Eröffnung des Weichsel—Nogat-Kanales von 1854 bis 1876,
c) die Schwimmermessungen bei Hochwasserständen in den Jahren 1888 bis 1891,
d) die Flügelmessungen nach Eröffnung des Nehrungsdurchstiches bis zum hochwasserfreien Abschluß der Nogat 1895 bis 1915,
e) die Flügel- und Schwimmermessungen nach dem Nogat-Abschluß bis zur Jetztzeit.

Vorstehende Einteilung entspricht den Hauptzeiträumen in der baulichen Entwicklung des Mündungsdeltas. Die Wahl der Meßstelle Montauerspitze ergab sich aus der Notwendigkeit, die Wasserverteilung an der Abmündungsstelle der Nogat, die von jeher großen Veränderungen unterworfen war, unter genauer Kontrolle zu halten, da die Weichsel immer mehr das Bestreben zeigte, als Hauptmündungsarm die Nogat auszubilden, deren Hochwasserquerschnitte jedoch für die Aufnahme des Eisganges z. T. gänzlich ungeeignet waren.

Die unter a) und b) aufgeführten Flügelmessungen bildeten zuverlässige Unterlagen zu den Vorstudien und dem Entwurf des in den Jahren 1847 bis 1853 erbauten Weichsel—Nogat-Kanales, sie waren auch notwendig zur Beobachtung der Wirksamkeit des Weichsel—Nogat-Kanals, durch den die Verteilung der abzuführenden Wassermassen in der Weise geregelt werden sollte, daß der Nogat nur ein Drittel, der „Geteilten Weichsel" zwei Drittel der Gesamtwassermenge zugewiesen wurden. Während durch die unter a) genannten Messungen vor 1847 die ständige Veränderlichkeit der Wasserstände am Pegel Montauerspitze deutlich erwiesen wurde, lieferten die unter b) erwähnten Messungen nach der Fertigstellung des Weichsel—Nogat-Kanales bis 1876 den Nachweis, daß die Beziehungen zwischen Wasserstand und Wassermenge am Pegel Montauerspitze immer sicherer wurden, so daß sich allmählich ein festliegendes Wasserabführungsgesetz für den Pegel Montauerspitze ausbildete. Auch die Auswirkungen des großen Frühjahrshochwassers 1855, das die beiden Deichbrüche bei Clossowo und Gr. Montau herbeiführte, wurden durch die Messungen dieser beiden ersten Gruppen einwandfrei nachgewiesen, trotzdem den hydrometrischen Erhebungen bei der Einfachheit der Meßgeräte noch mancherlei Ungenauigkeiten und Beobachtungsfehler anhafteten, und auch bisweilen wegen der kurzen Meßzeit unmöglich die erforderliche Sorgfalt geherrscht haben kann. Die Auswirkungen des Frühjahrshochwassers von 1855 bestanden einmal in gründlicher Aufräumung der etwa 4 km langen Stromstrecke zwischen der alten und neuen Abmündung der Nogat und in der übermäßigen Austiefung der „Geteilten Weichsel".

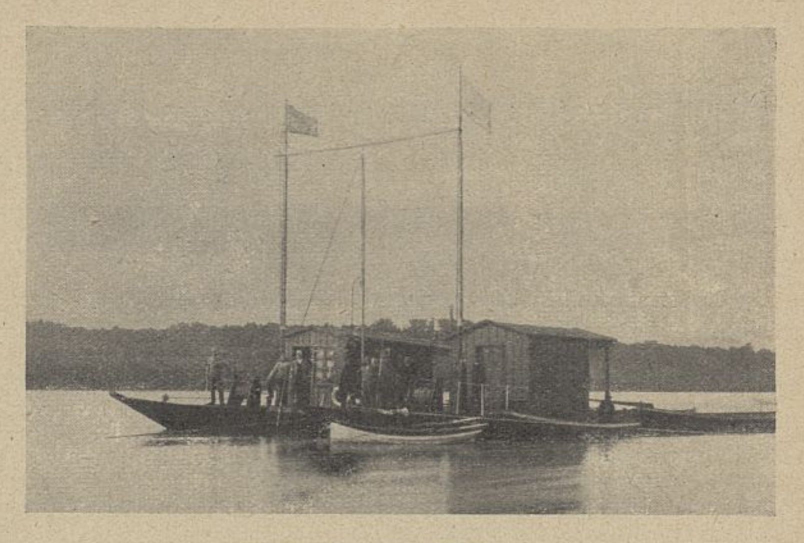


Abb. 2. Harlacher Meßfahrzeug.

Sämtliche Messungen, mit Ausnahme von zwei Messungen im Juli 1844, welche bei einem mittleren Hochwasser an den Schiffsbrücken bei Dirschau und Marienburg als Schwimmermessungen ausgeführt wurden, sind mit Woltmannschen Flügeln vorgenommen worden, die ebenfalls wie bei den ältesten Schwetzer Messungen an einer Stange unbeweglich zu ihrer Längsachse befestigt waren. Ein- und Ausrücken des Zählwerks geschah auch durch Schnurzug. Die Messungen können indessen schon insofern als genauer angesprochen werden, als der Abstand der Meßlotrechten nur 7,5 m betrug und als mittlere Vertikalgeschwindigkeit die in halber Wassertiefe gemessene Geschwindigkeit zugrunde gelegt wurde.

Die seit 1895 zur Ausführung gelangenden Wassermengenmessungen d) der Einteilung unterscheiden sich nun wesentlich von den älteren Flügelmessungen nicht nur hinsichtlich der Durchführung des Meßvorganges, sondern auch durch ihre Auswertung. Im Jahre 1895 setzt nämlich eine systematische wissenschaftliche Forschungstätigkeit an der Weichsel ein, veranlaßt durch die am 31. März 1895 erfolgte Eröffnung des 7,1 km langen Nehrungsdurchstiches, der eine besonders sorgfältige Beobachtung seiner Wirkung auf die Ausgestaltung des Bettes infolge der bedeutenden Laufverkürzung um rd. 10 km bedingte. Nur hydrometrische Apparate neuester Bauart gelangten zur Verwendung, deren Flügelkonstanten in einer im Einlager Hafen hergestellten Eichungsvorrichtung durch wiederholte Prüfungen festgestellt wurden.

Während für Messungen in geringeren Tiefen bis 7—8 m, hauptsächlich für Vorlandsmessungen und Messungen im Weichsel—Nogat-Kanal, Harlachersche Flügel von A. Ott in Kempten mit Aufzugtrommel an lotrecht stehender Stange mit elektrischem Registrierapparat und automatisch abstellendem Uhrwerk benutzt wurden (Abb. 2), trat für Tiefen bis 15 m ein von Amsler-Laffon in Schaffhausen gefertigter Apparat in Tätigkeit mit sogenannter horizontaler Suspensionsvorrichtung. Der Flügel ist hierbei an einer wagerechten Stange befestigt, welche durch Drehung an einer Kurbel in stets sich parallel bleibender Lage zu versenken ist. Durch elektrische Uebertragungen werden die Umdrehungen der Flügelwelle angezeigt und durch ein die Zeit messendes Uhrwerk in feststehenden Zeitabschnitten selbsttätig abgestellt. Die Flügelapparate waren auf



Abb. 3. Amsler Meßschiff mit Begleitdampfer während einer Messung.

besonderen Meßschiffen aufgestellt, die aus zwei durch eine Plattform miteinander verbundenen eisernen Prähmen bestanden. Eine Bude zur Aufnahme der elektrischen Apparate als Beobachtungsraum und bisweilen auch eine zweite Bude für das Bedienungspersonal vervollständigten die Ausrüstung der mit Vortau- und Seitenwinden zur genauen Einrichtung in das Meßprofil ausgestatteten Meßschiffe. Eine Drehung des Flügels nach dem Stromstrich war ausgeschlossen, so daß eine Stellung der Flügelachse senkrecht zu dem ausgesteckten Meßprofil stets gewährleistet war. Je nach dem Wasserstand und der Breite der Wasserfläche traten 1—4 Meßschiffe gleichzeitig in Tätigkeit. Abb. 3 stellt das Amsler-Meßschiff mit Begleitdampfer während einer Messung dar. Die Meßquerschnitte waren im Gegensatz zu den älteren Messungen feldmesserisch genau festgelegt; ebenso die Lage der Meßlotrechten im Querschnitt. Die Meßlotrechten wurden vom Meßschiff aufgesucht, entweder durch Einmessen an den mit Marken versehenen beiderseitigen Peilleinen, oder bei höheren Wasserständen durch Einfluchten in ein auf der Deichkrone durch hohe Baken bezeichnetes Strahlensystem. Die Meßpunkte in jeder Meßlotrechten wurden je nach der Wassertiefe derart verteilt, daß für jede Lotrechte eine Geschwindigkeitskurve gezeichnet werden konnte. Die mittlere Lotrechtengeschwindigkeit ergab sich dann durch Teilung des rechnerisch oder planimetrisch festgestellten Flächeninhaltes durch die zugehörige Wassertiefe. Während der Messungen wurden genaue Beobachtungen des Wasserstandes vorgenommen, sowohl an den Hauptpegeln, wie an besonderen Hilfspegeln oberhalb und unterhalb des Meßquerschnitts. Auf diese Weise sind die Wassermengenmessungen seit 1895 durchgeführt worden, hauptsächlich in folgenden drei Meßstellen:

1. Meßstelle Montauerspitze, ungeteilte Weichsel, Strom-km 169,0 (neue Stationierung).
2. Meßstelle Pieckel, geteilte Weichsel, Strom-km 173,33.
3. Meßstelle Dirschau, geteilte Weichsel, Strom-km 190,53.
4. Meßstelle Weichsel—Nogat-Kanal bei Pieckel, Strom-km 1,58.

Bei jedem Wasserstand mußte die Wassermenge im ungeteilten Strom gleich sein der Summe der Wassermengen in der „Geteilten Weichsel" und der Nogat. Der Messungsvorgang wurde seit 1910 durch genaue Ausführungsanweisungen immer mehr vervollkommnet. Die Auswertung geschieht seitdem nach dem graphisch-planimetrischen Verfahren von Harlacher, das gegenüber dem ältesten, analytischen Verfahren bei hinreichender Genauigkeit den Vorzug der Schnelligkeit besitzt. Die graphische Darstellung der Meßergebnisse zu Wassermengenkurven als Beziehung zwischen Wasserstand (Ordinate) und Wassermenge (Abscisse) ergibt ganz regelmäßig verlaufende Kurven, die in zwei durch eine Gerade verbundene Aeste zerfallen. Ganz deutlich tritt der charakteristische Knick in Ausuferungshöhe in Erscheinung, wo bei einem nur geringen Wasserstandswuchs eine starke Zunahme der Wassermenge stattfinden muß.

Die Meßergebnisse bis zum Jahre 1898 sind in dem bekannten Werk „Der Memel-, Pregel- und Weichselstrom" von H. Keller veröffentlicht; die späteren Messungen sind in den „Jahrbüchern der Landesanstalt für Gewässerkunde" in Berlin enthalten. Seit der politischen Umgestaltung befinden sich die Messungsprotokolle nebst Feldbüchern, Pegellisten usw. im hydrologischen Archiv der Strombauverwaltung des Hafenausschusses.

Nicht unerwähnt darf in diesem Zusammenhang bleiben, daß seit 1895 bei der Nutzbarmachung der Meßergebnisse auch die den Messungswasserständen des betreffenden Hauptpegels in der Nähe der Meßstelle gleichwertigen zugehörigen Wasserstände an den entfernteren Hauptpegeln bis hinauf nach Thorn ermittelt worden sind, und zwar mit Hilfe der aus der Beobachtung der Höchst- und Tiefstände (Grenzwasserstände) bekannten Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wasserwelle und der Pegelkurve der betreffenden Meßperiode. In späteren Jahren sind zu einer Nachprüfung noch die bei den Messungen vorgenommenen zweistündlichen Pegelbeobachtungen, wie auch die Methode der Bezugslinien herangezogen worden. Somit war es möglich, auch für entferntere Pegel die Wassermengenkurven aufzutragen, wobei jedoch ausdrücklich darauf hingewiesen sei, daß der verhältnismäßig geringe Einfluß der Seitenzubringer bis zur Abmündung der Nogat unberücksichtigt geblieben ist. Von 1912 bis 1914 in einer Meßstelle bei Thorn, Strom-km 20,705, ausgeführte Kontrollmessungen haben die Gültigkeit dieser Annahme bestätigt.

Wegen der bemerkenswerten Eigenschaft der Wassermengenkurven, Hebungen und Senkungen der Wasserstände mit Sicherheit lediglich aus einem Vergleich der Wassermengenkurven nachzuweisen, bilden sie das einzig zuverlässige Hilfsmittel, die Wirkung der Flußkorrektionen nachzuweisen.

Bereits zwei Jahre nach Eröffnung des Nehrungsdurchstiches lieferten die Wassermengenkurven von 1897 den klaren Beweis für eine beginnende, allmählich stromaufwärtsschreitende Vertiefung der Stromsohle, als Folge des durch die Verkürzung der Stromlänge um rd. 10 km vergrößerten Gefälles und der dadurch bedingten größeren Geschwindigkeit. Infolge Störung des vorher bestehenden Gleichgewichtszustandes traten eben schon damals Senkungserscheinungen auf, da die Messungen für einen oberhalb des Durchstiches gelegenen Ort bei ein und demselben Pegelstand größere mittlere Profilgeschwindigkeiten und Wassermengen ergaben, als früher beobachtet waren. Seitdem hat sich diese Wandlung weiter vollzogen. Durch die Messungsgruppe 1895 bis 1915 ist der Nachweis erbracht, daß der absenkende Einfluß des Durchstiches Siedlersfähre—Ostsee (Nehrungsdurchstich) 1915, als der Nogatabschluß fertiggestellt war, noch nicht beendet war. Die 20 Jahre hatten eben nicht genügt, das Gleichgewicht der die Wasser- und Geschiebebewegung beeinflussenden Kräfte wiederherzustellen.

Seit 1915 sind wiederum ganz neue Abflußverhältnisse in der Mündungsstrecke geschaffen worden, die der aufmerksamsten Beobachtung bedürfen. Leider sind während der Kriegsjahre und nach 1918 wegen der langen Ungewißheit über das Schicksal der unteren Weichselstrecke manche empfindlichen Lücken in den Beobachtungsreihen entstanden. Im Jahre 1918 gelang es noch, einen vollständigen Satz von Wassermengenmessungen bei Palschau, Strom-km 200,72, von bordvollen bis zu ganz kleinen Wasserständen reichend, auszuführen. Seitdem ist diese Meßstelle, die auch schon vor dem Kriege bisweilen zu Hochwassermessungen mit herangezogen wurde, ausschließlich benutzt worden.

b) Schwimmermessungen.

Bevor nun auf die Hochwassermessungen des Jahres 1924 näher eingegangen wird, sollen vorerst noch die ähnlichen Schwimmermessungen bei Hochwasserständen in den Jahren 1888 bis 1891, deren Höchststände nur unwesentlich voneinander abweichen, kurz erwähnt werden. Geeignete Meßgeräte, die genaue Messungen bei größeren Anschwellungen des Stromes ermöglichten, standen nicht zur Verfügung. So führte einerseits der Mangel an Meßgeräten, andererseits der Wunsch, die Hochwassermenge möglichst an mehreren Stellen gleichzeitig zu erfassen, auf den Gedanken der Schwimmermessungen. Es wurden sowohl Oberflächen- wie Stabschwimmer benutzt. Entsprechend dieser Verschiedenartigkeit der Versuche erfolgte die Auswertung der Messungen durch Einführung verschiedener Korrektionswerte. Die Meßstellen lagen bei Thorn, Fordon, Culm, Graudenz, Kurzebrack, Montauerspitze, Pieckel, Dirschau an der Weichsel und bei Marienburg und Marienauer Wachtbude an der Nogat. Durch Mittelung der Wassermengen an den verschiedenen Meßstellen wurden für die „Ungeteilte Weichsel" folgende Abflußwerte ermittelt:

im Jahre 1888: Q_{max} = 9 700 cbm/sek bei + 7,60 m a. P.
im Jahre 1889: Q_{max} = 10 000 cbm/sek bei + 7,00 m a. P.
im Jahre 1891: Q_{max} = 10 440 cbm/sek bei + 7,52 m a. P.

Die zugehörigen Pegelstände, die sich auf den Pegel Montauerspitze beziehen, sind nicht wirklich beobachtete Messungswasserstände, sondern Folgerungen, die sich aus den Berechnungen ergaben. Bindemann erklärt den Widerspruch, daß im Jahre 1891 bei im allgemeinen kleineren Wasserständen sich größere Wassermengen ergaben im Vergleich zu 1888 und 1889 folgendermaßen: In den beiden letzteren Jahren wären im Gegensatz zum Jahre 1891 jedesmal dem Hochwasser Eisgänge vorangegangen, die das Wasser hoch aufgestaut und damit eine Auffüllung der Seitentäler und uneingedeichten Niederungen verursacht hätten, wodurch Wassermassen der Hochwassermenge entzogen wären.

Lange Zeit hindurch bot sich seitdem keine Gelegenheit mehr, Hochwassermengenmessungen auszuführen, bis im Jahre 1903 beim Sommerhochwasser wieder Flügelmessungen bei Montauerspitze vorgenommen wurden und zwar bei Wasserständen von + 6,01 bis + 3,24 m a. P. Sie lieferten Wassermengen von

$$Q = 4958 \text{ cbm/sek bis } 2092 \text{ cbm/sek.}$$

Auf Grund der Messungen dieses Sommerhochwassers, das nur um 1,67 m unter dem bis dahin beobachteten höchsten eisfreien Wasserstande bei Montauerspitze zurückblieb, und sonstiger Berechnungen aus Flügelmessungen ist dann die größte Abflußmenge der „Ungeteilten Weichsel" zu 8200 cbm/sek ermittelt worden, die bei dem Höchststand + 7,68 m a. P. Montauerspitze abfließen würde. Hierbei hat man freilich unbeachtet gelassen, daß, wenn die Messung im Frühjahr ausgeführt worden wäre, wegen des geringen Rauhigkeitsgrades der Vorländer sich wahrscheinlich eine erheblich größere Wassermenge ergeben hätte, und zwar nach einem später angestellten Vergleich eine um 1080 cbm/sek größere. Die Landesanstalt für Gewässerkunde hat schließlich im Jahre 1906 die Wassermenge des Frühjahrshochwassers 1889 zu 9330 cbm/sek festgestellt, mit welcher Höchstwassermenge bis 1924 stets gerechnet worden ist.

II. Hochwassermengenmessung 1924.

a) Wahl der Meßmethode.

Im Jahr 1924 bot das Frühjahrshochwasser wieder die seltene Gelegenheit, Hochwassermengenmessungen vorzunehmen, für deren Durchführung ebenfalls Schwimmermessungen gewählt wurden. In der Hauptsache war für diese Wahl die gleiche Ueberlegung maßgebend, die auch schon in den achtziger Jahren zur Anwendung der Schwimmermessungen geführt hatte, obwohl ein genauer Ausführungsplan für die Verwendung von Meßschiffen seit Jahren theoretisch ausgearbeitet war. Die Hauptforderung für ein einwand-

freies Meßergebnis liegt immer in der schnellen und dabei doch bestmöglichen Durchführung der Messung. Die großen Deichentfernungen, die hohen Strömungsgeschwindigkeiten bei gefülltem Hochwasserquerschnitt, sind für die praktische Durchführung von Flügelmessungen, wie sie bisher durchgeführt wurden, kaum zu überwindende Hindernisse. Es ist für die Meßkolonne äußerst gefahrvoll, bei Geschwindigkeiten von 3,80 m/sek und mehr, bei Vorlandtiefen von 3 bis 5 m und Stromschlauchtiefen von 10 bis 12 m unter dem Hochwasserspiegel ein Meßschiff zu verholen, ganz abgesehen von der Unmöglichkeit, bei diesen Wassertiefen — wie sie an der Weichsel im April 1924 tatsächlich auftraten — einen Flügelapparat auch selbst mit wagerechter Aufhängevorrichtung in der Strömung zu halten oder gar arbeiten zu lassen. Es erscheint ferner fraglich, ob bei einer genügenden Anzahl von Meßlotrechten ein Querschnitt von etwa 1100 m Breite, entsprechend dem Deichabstand an der Meßstelle, überhaupt an einem Tage durchgemessen werden kann. Das verhältnismäßig schnelle, 50 bis 70 cm je Tag ausmachende Fallen der Hochwasserwelle erfordert eine möglichst kurze Meßdauer und weiterhin möglichst 2 Messungen an einem Tag. Wie wertvoll für ein einwandfreies Endergebnis schnellste Arbeit ist, zeigt am besten folgende Ueberlegung. Es werde eine Messungsdauer mit Flügelinstrumenten von selbst 12 Stunden angenommen. In dieser Zeit falle der Wasserspiegel um rund 30 cm. Hierdurch tritt eine Querschnittsverringerung um $1100 \cdot 0{,}3 = 330$ qm ein. Das bedeutet z. B. bei einem größten Hochwasserquerschnitt von $F = 5000$ qm eine Verringerung von rund 6,5 v H. Diese Fehlerquelle, die sich noch in dem Maße naturgemäß vergrößert, als bei gleichmäßig fallendem Wasserstand der Hochwasserquerschnitt entsprechend kleiner wird, überträgt sich infolge der Beziehung $Q = F \cdot v$ auf die Wassermenge. Auch die bei Flügelmessungen während eines größeren Sommerhochwassers im Jahre 1903 gesammelten Erfahrungen über die außerordentliche Schwierigkeit derartiger Messungen trugen zu dem Entschluß bei, die Messung des Hochwassers im Frühjahr 1924, für das eine ungewöhnliche Höhe zu erwarten war, als Schwimmermessung durchzuführen. Mitbestimmend für diesen Entschluß war ferner die Tatsache, daß die Schwimmermessung bei Hochwasser bei kürzerer Zeitdauer weniger Personal erfordert, als eine Flügelmessung unter den gleichen Umständen.

Im Folgenden soll nun der Gang der Messungen und des bei ihrer Auswertung eingeschlagenen Verfahrens näher erläutert werden.

b) Gang der Messungen.

Die Vorbereitungen für die Messungen erstreckten sich zunächst auf die Wahl einer geeigneten Meßstelle. Als solche wurde der seit 1917 für Flügelmessungen häufiger benutzte Meßquerschnitt bei Palschau, Strom-km 200,720, gewählt, der den Vorzug besitzt, in einer längeren, geraden und regelmäßigen Stromstrecke zu liegen. Der Stromschlauch verläuft hier parallel zu den beiderseitigen in 1100 m Entfernung voneinander liegenden Deichen und damit parallel zur Stromrichtung des Hochwasserbettes. Für eine möglichst gleichmäßige und parallel zum Ufer verlaufende Strömung, welche die Vorbedingung eines jeden Meßquerschnitts sein muß, waren somit alle Voraussetzungen gegeben. Am 25. März 1924, also vor Eintritt des Hochwassers, das mit seiner größten Welle vom 1.—17. April dauerte, wurden an der Meßstelle 3 Meßprofile senkrecht zur Strommittellinie in genau 100 m Abstand voneinander in die beiderseitigen Deichpolygonzüge eingebunden, abgesteckt und aufgemessen (Abb. 4). Die Aufnahmen sollten als vorläufige Unterlage zur späteren Auswertung der Messungen dienen.

Als Schwimmer wurden Buhnenpfähle hergerichtet, die auf etwa 0,8 bis 1,0 m Länge und rund 6 cm Durchmesser zugeschnitten waren. An ihrem oberen Ende wurden sie mit gut sichtbarer hellroter Farbe (Mennige) angestrichen und am unteren Ende mittels eines mit Draht befestigten Ziegel- oder Kalksteins derartig beschwert, daß sie, etwa 25 cm senkrecht aus dem Wasser stehend, sich in schwebender Lage hielten. Es wurde also peinlich ver-

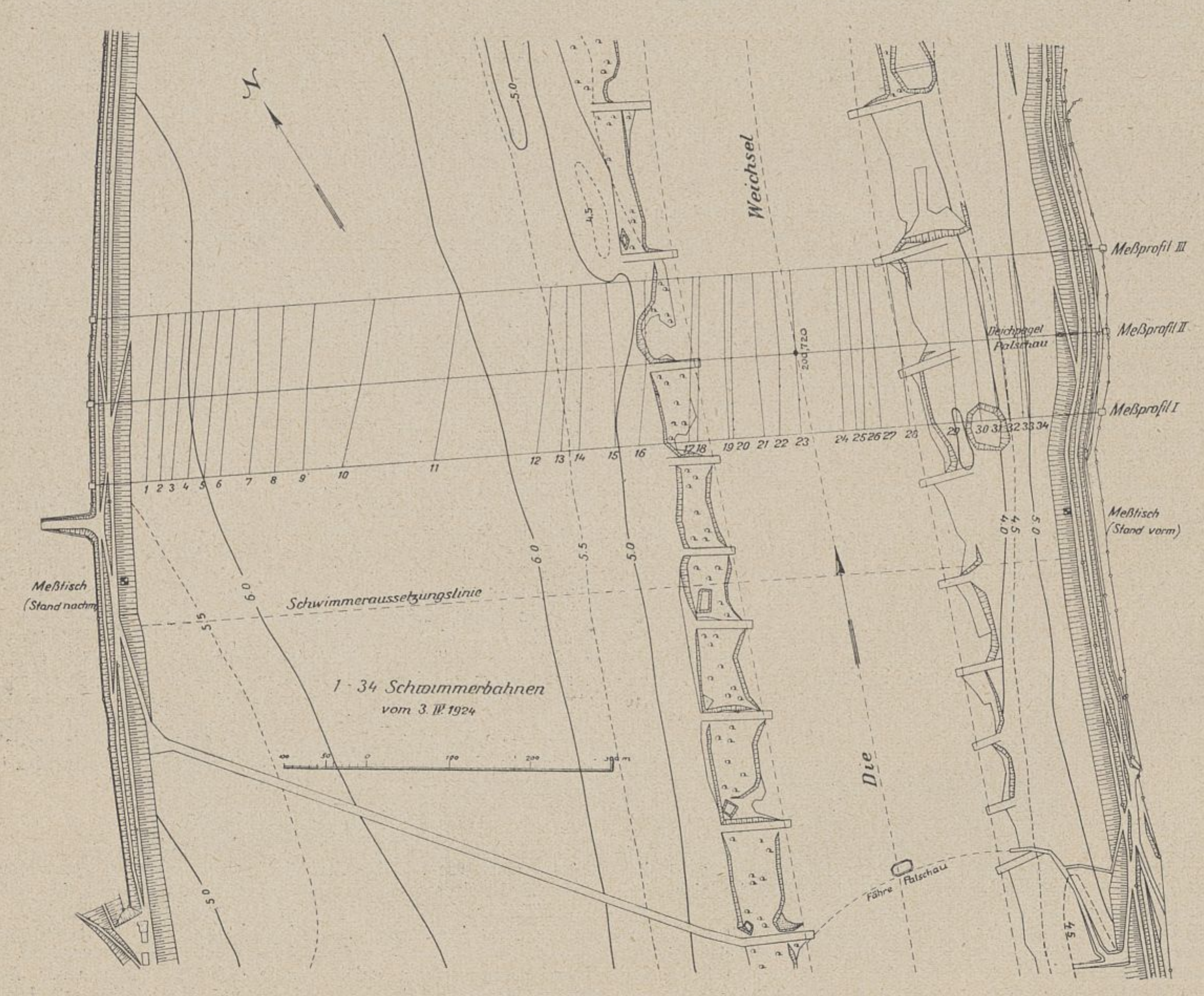


Abb. 4. Meßstelle Palschau mit eingezeichneten Profilen, Meßtischstand, Schwimmerbahnen usw.

mieden, durch Fähnchen oder ähnliche Toppzeichen die Schwimmer sichtbarer zu machen. Es sollte nach Möglichkeit vermieden werden, daß die Schwimmergeschwindigkeit und damit das Endergebnis durch großen Luftwiderstand bei Wind beeinträchtigt würde. Diese gewählte Schwimmerart schließt in hohem Grad die Nachteile der Oberflächenschwimmer aus und vereinigt zugleich den Hauptvorteil der Tiefenschwimmer in sich, der in dem verhältnismäßig großen Schwimmwiderstand liegt. Es ist damit also eine hohe Gewähr dafür gegeben, daß der Schwimmer die tatsächliche Wassergeschwindigkeit bis zu seiner eigenen größten Tiefe annimmt und messen läßt. Auch erschien es berechtigt, bei diesen Stabschwimmern die sogenannte „Voreilung", welche bei jedem in fließendem Wasser treibenden Körper auftritt, unberücksichtigt zu lassen, was sich aus folgender Ueberlegung ergab:

I. Gewicht eines Schwimmers

$$
\begin{aligned}
\tfrac{1}{2}\ \text{Ziegelstein}\ \tfrac{1}{2} \cdot 3{,}2\ \text{kg} &= 1{,}6\ \text{kg} \\
1\ \text{Holzstab}\ 0{,}8\ \text{m lg}\ \ldots &= 0{,}9\ \text{kg} \\
\hline
G &= 2{,}5\ \text{kg}
\end{aligned}
$$

Gefälle der Weichsel an der Meßstelle $J = 0{,}00016—0{,}00018$ oder $\frac{1}{n}$ = im Mittel $17/100\,000 = \text{rd. } \frac{1}{6000}$.

Damit wird die Seitenkraft G_t der Schwerkraft in Fließrichtung $G_t = G \cdot \frac{1}{n} = \frac{2{,}5}{6000} = 0{,}000416$ kg.

II. Der Widerstand des Schwimmers errechnet sich nach Bräuler (vergl. Nr. 98 des Zentralblattes der Bauverwaltung von 1922) aus:

$$W = 51 \cdot k \cdot F \cdot (v_1 - v_2)^2).$$

Es ist die Widerstandsfläche des Schwimmers

$$
\begin{aligned}
\tfrac{1}{2}\ \text{Ziegelstein}\quad \text{rd. } 12 \cdot 13 &= 156\ \text{qcm} \\
1\ \text{Holzstab}\quad \text{rd. } 80 \cdot 5 &= 400\ \text{qcm} \\
\hline
&\ 556\ \text{qcm}
\end{aligned}
$$

Wird k = rd. 0,6 und bereits eine Relativgeschwindigkeit von 0,1 m/sek angenommen, so wird

$$W = 51 \cdot 0{,}6 \cdot 0{,}0556 \cdot 0{,}1^2 = 0{,}017\ \text{kg}.$$

Der Schwimmwiderstand ist also bei diesen ungünstigen Annahmen wegen des kleinen Gefälles der Weichsel bereits das 41fache der die Voreilung erzeugenden Kraft, so daß in der verhältnismäßig kurzen Laufstrecke der Schwimmer — rd. 250 bis 300 m — eine meßbare und auf das Endergebnis einen Einfluß ausübende Voreilung nicht zur Entwicklung kommen kann.

Um eine schnelle und sichere Durchführung der Messung zu gewährleisten, war ein genauer Ausführungsplan aufgestellt worden, aus dem der erforderliche Bedarf an Personal, Dampfern und Geräten zu entnehmen war. Er enthielt ferner Angaben über die Verteilung und Besetzung der Apparate und die Einzelheiten während des Meßvorgangs. Von Instrumenten fanden bei den Messungen Verwendung: 1 Meßtisch mit Kippregel, 2 Stoppuhren und mehrere Prismenferngläser. Für die übersichtliche Aufzeichnung der Beobachtungen waren in ausreichender Anzahl Formulare angefertigt worden, in denen besondere Spalten für die zur späteren Auswertung der Beobachtungen notwendigen Zwischenrechnungen vorgesehen waren, wodurch das Tabellenmaterial auf den geringstmöglichen Umfang beschränkt wurde.

Der Winter 1923/24 hatte neben ungeheuren Schneefällen, welche noch diejenigen des Jahres 1888 bei weitem übertrafen, einen besonders langen und strengen Frost gebracht, der, abgesehen von einer kleineren Kältewelle gegen Ende November, vom 20. Dezember bis zum 23. März mit großer Hartnäckigkeit und Beständigkeit mit Ausnahme weniger Tage anhielt. Um über die Niederschlags- und Schneeverhältnisse im Quellgebiet und Oberlauf der Weichsel und ihrer Nebenflüsse jederzeit unterrichtet zu sein, wurden auf Antrag der Strombauverwaltung des Hafenausschusses vom meteorologischen Institut in Warschau täglich die klimatologischen Karten übersandt, in denen die Niederschlags- und Schneehöhen eingetragen waren. So betrug z. B. am 11. Februar 1924 die größte Schneehöhe auf dem Kamm der Karpathen noch 0,90 m. Auf Grund der Schneehöhenkarte vom 18. März 1924 wurde für die im Frühjahr zu erwartende Hochwassermenge eine rohe Schätzung vorgenommen, die eine Hochwassermenge von mindestens 7000 cbm/sek entsprechend einem Wasserstand von + 7,0 m a. P. Dirschau ergab. Es hieß daher auf der Hut sein und alle Vorbereitungen für die Messung des Hochwassers zu treffen, zumal sich das ganze Weichselgebiet bis Ende März 1924 noch in Winterlage befand. Erst am 23. März hatte eine über Ostdeutschland und die anliegenden Länder laufende starke Wärmewelle das Einsetzen einer plötzlichen Schneeschmelze zur Folge. Dementsprechend trat das Weichselhochwasser mit großer Mächtigkeit auf. Die graphische Darstellung der Hochwasserwelle ergab denn auch eine ganz außergewöhnlich steile und hohe Form, die besonders dadurch hervorgerufen wurde, daß ganz ausnahmsweise der Eisgang und das Hochwasser des Hauptstroms und seiner beiden bedeutendsten Nebenflüsse, des Bug und des Narew, gleichzeitig eintrafen. Die Welle hatte in der Nacht vom 1. zum 2. April am Pegel Dirschau ihren höchsten Stand erreicht mit + 8,54 m a. P., der die großen Hochwasser von 1889 noch um 22 cm und 1891 noch um 67 cm übertraf. Bereits im Laufe des 1. April ließ der Eisgang erheblich nach. In der Frühe des 2. April wurden in Einlage die Instrumente, Geräte und die wohlunterwiesene Mannschaft des Meßtrupps auf den beiden bereitliegenden Eisbrechdampfern „Schwarzwasser" und „Ossa" eingeschifft, um zu der etwa 17,3 km oberhalb gelegenen Meßstelle bei Palschau die Bergfahrt anzutreten. Der außerordentlich starken Strömung im Stromschlauch wegen mußten sich die doch mit kräftigen Maschinen ausgerüsteten Dampfer teils über den Buhnenfeldern, teils über den Vorländern halten, um mit einer leidlichen „Fahrt über Grund" vorwärts zu kommen. Die Dampfer hatten derart gegen den Strom anzukämpfen, daß sie stellenweise „Fahrt" über den Achtersteven machten". Es war ein imposanter Eindruck, den die zwischen den Deichen zusammengepreßten, sich meerwärts wälzenden gelblichen Wassermassen dem Beschauer boten. War es doch möglich, von der Kommandobrücke des Dampfers aus einen weiten Fernblick in die Danziger und Marienburger Niederung zu genießen. Die starken Deiche taten ihre Schuldigkeit und ließen den Gedanken an die Möglichkeit eines Dammbruches nicht aufkommen. Erst gegen 4½ Uhr nachmittags konnte an der Meßstelle eine Probemessung vorgenommen werden, um für die folgenden Messungstage die Mannschaften sicher in die Hand zu bekommen. Zur Aufstellung einer einwandfreien Wassermengenkurve wurden dann vom 3. April bis 26. Mai an 12 Tagen Messungen durchgeführt und damit ein Pegelraum von 5,85 m, am Meßpegel Palschau gemessen, erfaßt (Abb. 5).

Die Wetterlage war an den Meßtagen günstig mit Ausnahme des 5. und 8. April, sowie der zwei letzten Meßtage am 23. und 26. Mai. Am 5. April stand ein Nordwind von 5 m/sek, am 8. April ein Südwind von 8—10 m/sek Geschwindigkeit. Beide Windrichtungen hatten auf dem über 1 km breiten in der Nähe der Meßstelle auf einer verhältnismäßig langen Strecke südnördlich verlaufenden Hochwasserfläche eine wirksame Streichlänge, so daß sich auch die Messungsergebnisse beim Auftragen der Wassermengenkurve vom 5. April als zu klein und vom 8. April als zu groß ergaben. An den letzten zwei Meßtagen im Mai herrschte ein Südwind von 8 bis 10 m/sek und 4—6 m/sek Geschwindigkeit, was zur Folge hatte, daß diese Messungen zu große Werte lieferten. Es wäre auch ein Mittelwasser, in dessen Höhe der untere Ast der Wassermengenkurve liegt, mit Q = 1500 cbm/sek für die Weichsel in dieser Pegelhöhe zu groß gewesen. Durch spätere Flügelmessungen aus dem September 1924 ist der untere Kurvenast dann verbessert worden. Gleichzeitig mit den Messungen wurden zur Bestimmung des Spiegelgefälles halbstündliche Pegelbeobachtungen an 3 Hilfspegeln ausgeführt, von denen der erste 500 m oberhalb, der letzte 500 m unterhalb des Deich- und Meßpegels Palschau lag. Der Deichpegel Palschau selbst lag im mittelsten der 3 Meßprofile.

Das Aussetzen der Schwimmer mußte an den Hochwassertagen vom Dampfer aus vorgenommen werden, da die starke Strömung das Aussetzen von einem Boot aus — wie es bei den Messungen bei niedrigeren Wasserständen und im Mittelwasserbett gehandhabt wurde —, unmöglich machte. Um die störende und das Meßergebnis stark beeinflussende Wirkung des Kielwasserschattens möglichst auszuschalten, wurde beim Aussetzen so verfahren, daß der Schwimmerstab 6—8 m querab vom Dampfer in Scheerrichtung ins Wasser geworfen wurde. Schor also der Dampfer auf der rd. 150 m oberhalb des ersten Meßprofils gelegenen Schwimmeraussetzungslinie (Abb. 4) vom rechten zum linken Ufer hinüber, so wurde der

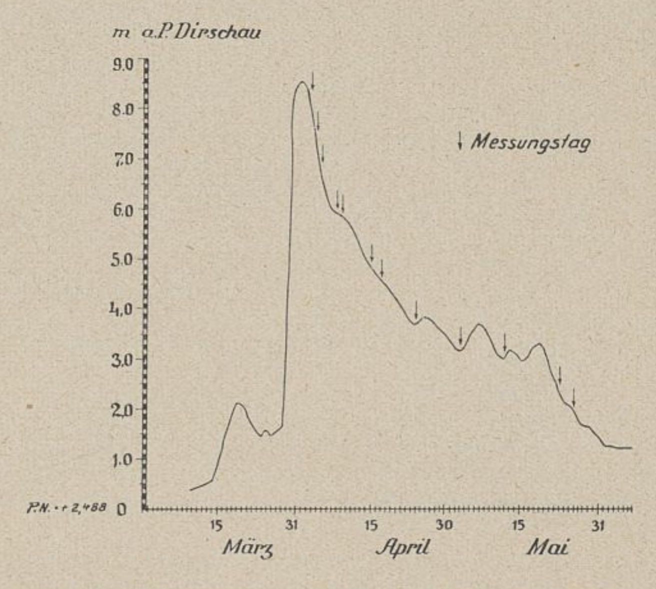
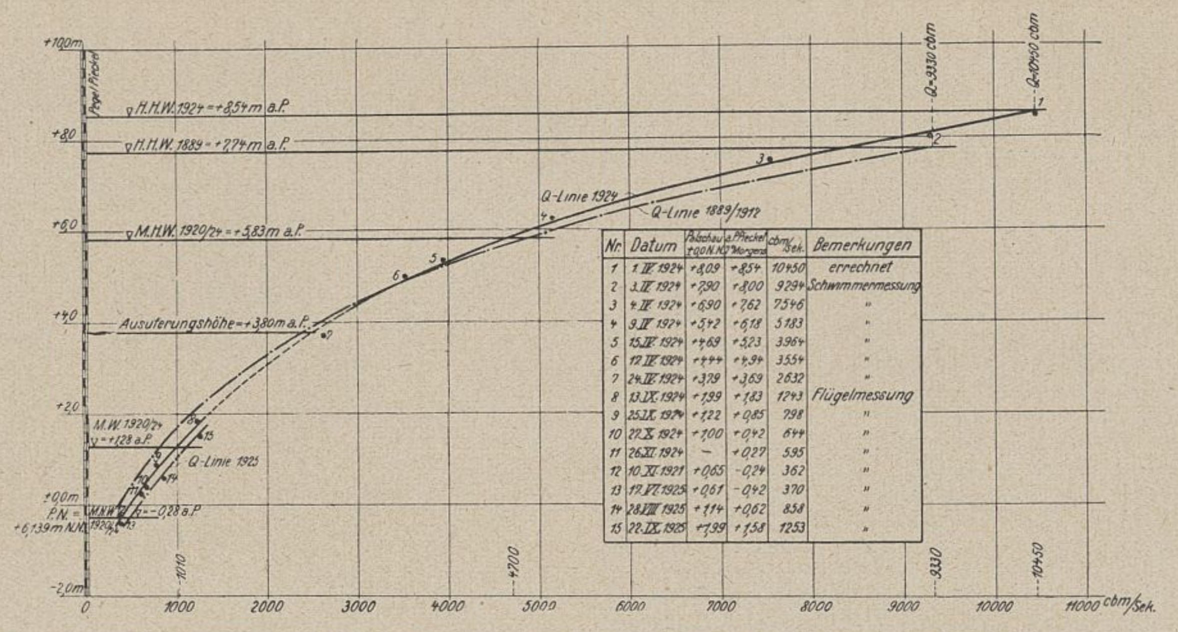


Abb. 5. Hochwasserwelle der Weichsel am Pegel Dirschau im April/Mai 1924.



Nr.	Datum	Dirschau +0,0 N.N.	a. Pieckel 7h Morgens	cbm/sek.	Bemerkungen
1	1. IV. 1924	+8,09	+8,54	10450	errechnet
2	3. IV. 1924	+7,90	+8,00	9294	Schwimmermessung
3	4. IV. 1924	+6,90	+7,62	7546	"
4	9. IV. 1924	+5,42	+6,18	5183	"
5	15. IV. 1924	+4,69	+5,23	3964	"
6	17. IV. 1924	+4,44	+4,94	3554	"
7	24. IV. 1924	+3,79	+3,69	2632	"
8	13. IX. 1924	+1,99	+1,83	1243	Flügelmessung
9	25. IX. 1924	+1,22	+0,85	798	"
10	27. X. 1924	+1,00	+0,42	644	"
11	26. XI. 1924	—	+0,27	595	"
12	10. XI. 1921	+0,65	−0,24	362	"
13	17. VI. 1925	+0,61	−0,42	370	"
14	28. VIII. 1925	+1,14	+0,62	858	"
15	22. IX. 1925	+1,99	+1,58	1253	"

Abb. 9. Vergleich der Wassermengenkurve für Pieckel aus dem Zeitabschnitt 1889/1912 mit den Kurven von 1924 und 1925.

d) Ermittlung des Sinkstoffgehalts.

Gelegentlich der Wassermengenmessungen sind an einzelnen Tagen Wasserproben aus der Weichsel entnommen worden. Verteilt über den ganzen Querschnitt wurden die Entnahmen derart durchgeführt, daß mit besonders zu diesem Zwecke hergestellten, 250 ccm fassenden Apparaten in 4 Lotrechten in verschiedenen Tiefen zugleich Wasserproben gefaßt wurden, die in Flaschen mit genauer Bezeichnung der Lotrechten abgefüllt wurden. Auf diese Weise wurden z. B. am 3. April 1924 14 Proben entnommen. Diese wurden später im Laboratorium der Technischen Hochschule Danzig gefiltert. Der auf empfindlicher Wage festgestellte Wägungsunterschied aus dem reinen Filter und dem ausgeglühten Filtrat ergab ein Gewicht von i. M.

$$0{,}34196 \text{ g/l} = \text{rund } 0{,}342 \text{ g/l Sinkstoffgehalt.}$$

Die Wasserführung der Weichsel betrug am 3. April 9225 cbm/s. Die mitgeschleppte, allerdings geglühte Sinkstoffmenge würde sich hiermit berechnen zu:

$$9225 \text{ cbm} \cdot 1000 \cdot 0{,}342 \text{ g} = 3{,}15 \text{ t/sek.}$$

Legt man für geglühten Sand, Lehm usw. ein spezifisches Gewicht von = 1,25 zugrunde, so erhält man eine Schlickführung von $\frac{3{,}15}{1{,}25} = 2{,}52$ cbm/sek, die also in jeder Sekunde den Meßquerschnitt durchströmten. Nicht unerwähnt möge hier bleiben, daß bei dem Frühjahrshochwasser 1912 mit einem Höchststand von rund + 4,88 a. P. zu Thorn auf primitivere Weise der Schlickgehalt der Weichsel bei Thorn zu 300 g für 1 cbm = 0,30 g/l ermittelt wurde.

(Vergl. Vorschläge zum weiteren Ausbau der Weichsel zur Förderung der Schiffbarkeit von A. Niese und G. E. Schmidt, Zeitschrift für Bauwesen, Jahrgang 1918, Heft 4—6, Seite 211.) Die beiden Ergebnisse weisen also eine recht gute Uebereinstimmung auf.

Eine noch bessere Vorstellung von den gewaltigen mitgeführten Schlickmengen erhält man, wenn man die Sinkstoff-Fracht für einen Tag ausrechnet, was eine Sinkstoffmenge von 2,52 · 86 400 = rd. 218 000 cbm ergibt. Durch alle Sinkstoffproben wurde mit großer Genauigkeit eine gleichmäßige Verteilung der Sink- und Schwebestoffe über den ganzen Stromquerschnitt nachgewiesen.

Naturgemäß nahm die Schleppkraft, die bekanntlich in einem gesetzmäßigen Zusammenhang mit dem Gefälle und der Wassertiefe steht, mit fallendem Wasserspiegel ab. So betrug z. B. am 26. Mai der Schlickgehalt i. M. nur noch 0,0343 g/l bei einer Wasserführung von 1632 cbm/sek. Auch mit den Flügelmessungen im September 1924, welche die infolge von Windbeeinflussung zu groß ausgefallenen 2 letzten Schwimmermessungen in Mittelwasserhöhe aus dem Mai 1924 ergänzten, sind Sinkstoffentnahmen verbunden worden. Am 13. September z. B. betrug der Sinkstoffgehalt der Weichsel i. M. 0,06877 g/l bei einer Wasserführung von 1243 cbm/sek. Es ist auffallend, daß hier bei geringerer Wasserführung als am 26. Mai fast genau der doppelte Schlickgehalt festgestellt wurde. Dieser große Unterschied dürfte in der Hauptsache darauf zurückzuführen sein, daß die September-Messung bei steigendem Wasser mit einem größeren Gefälle durchgeführt wurde, das am 13. September 1924 0,211 m/km, am 26. Mai 1924 dagegen nur 0,170 m/km betrug. Es zeigt sich also, daß der Strom bei steigendem Wasser sich mit Sink- und Schwebestoffen zu beladen und zu sättigen sucht.

Zu diesen Schlickmengen, die nach jedem Hochwasser auf den Vorländern in mehr oder weniger ausgedehnten Ablagerungen in die Erscheinung treten, kommen noch die schwer oder gar nicht meßbaren, größeren und kleineren, sich auf der Stromsohle entlang bewegenden Geschiebemassen, die allerdings hier im Unterlauf der Weichsel nur in Sandform auftreten. Immerhin dürfte die obige Auswertung der Sinkstoffentnahmen einen wertvollen Beitrag liefern zur Frage des Entstehens der ausgedehnten Sandbänke, die als Wahrzeichen eines jeden Hochwassers sich an der Mündung der Weichsel bilden und die Deltabildung verursachen.

III. Schlußbetrachtung. Das Frühjahrshochwasser 1924 ist die erste große Belastungsprobe gewesen, welche die in den Jahren 1889 bis 1915 zur Regulierung der Weichselmündung in großzügiger Weise ausgeführten baulichen Anlagen auszuhalten hatten. Letztere bestanden bekanntlich in der Schaffung des rund 7 km langen Nehrungsdurchstiches mit Hochwasserbettregelung, der anschließenden Regulierung des Hochwasserquerschnitts bis hinauf zur Nogatabzweigung und schließlich in dem hochwasserfreien Abschluß der Nogat. Sämtliche Bauten haben sich glänzend bewährt. Es unterliegt heute keinem Zweifel, daß es ohne jene weitausschauenden Maßnahmen im Mündungsgebiet der Weichsel im Frühjahr 1924 sicherlich wieder zu einer Katastrophe gekommen wäre, ähnlich denjenigen aus den Jahren 1829, 1855 und 1888, in welch letzterem Jahre der Nogatdeich bei Jonasdorf durchbrach.

Anderseits liefert das Frühjahrshochwasser 1924 ein lehrreiches Beispiel dafür, wie außerordentlich wichtig für das Bemessen des Bettes von Wasserläufen die richtige Festsetzung der größten Wassermenge ist. Auf Grund eines Gutachtens der Akademie des Bauwesens vom 7. Juli 1883 hatte man sich von den beiden Entwürfen, die für die Umgestaltung der Abflußverhältnisse der unteren „Geteilten Weichsel" aufgestellt waren, für denjenigen Entwurf entschieden, bei dem die Nogat als Mündungsarm bestehen bleiben sollte hauptsächlich mit Rücksicht auf die Erhaltung der Spülkraft des Nogatwassers für das Pillauer Tief und dessen Seebarre. Da man somit bei der endgültigen Entwurfsbearbeitung des Nehrungsdurchstiches noch nicht mit dem Abschluß der Nogat rechnete, welcher Mündungsarm ein Drittel der gesamten Hochwassermenge der Weichsel abführte, ist $Q_{max} = 7000$ cbm/sek angenommen worden, während nach den vorstehend geschilderten Messungen $Q_{max} = 10450$ cbm/sek beträgt.

Die Wasserführung des Nehrungsdurchstiches und der oberhalb anschließenden Stromstrecke der ehemals geteilten Weichsel bis Montauerspitze hinauf hat demnach rund 50 vH mehr betragen, als seinerzeit den Berechnungen zugrunde gelegt worden ist. Diese durch die Hochwassermengenmessungen 1924 einwandfrei nachgewiesene Mehrbelastung mußte sich bei dem feinen und leichten Geschiebekorn der Weichsel selbstverständlich in einer außerordentlich großen Austiefung des Bettes und einer sehr starken Beanspruchung der Stromregulierungswerke auswirken, an denen dann auch besonders umfangreiche Hochwasserschäden aufgetreten sind.

Flußmündungen mit Barrenbildung an der baltischen Ostseeküste.

Von Dr.-Ing. **Egon Leppik** in Tallinn (Reval).

Schluß aus Heft 1 bis 3.

(Hierzu eine Tafel.)

4. Die Mündung der Narowa (Hafen Narva).

a) Der Flußlauf oberhalb des Mündungsgebietes (Abb. 1).

Die Narowa bildet den Abfluß des wasserreichen Peipussees. Sie besitzt eine Länge von 76 km; ihr Zuflußgebiet umfaßt 56 056 qkm, wovon auf den Peipussee 47 829 qkm entfallen. Von den Nebenflüssen ist der bedeutendste die Pljussa, welche 53 km unterhalb des Peipussees rechts in die Narowa mündet. Einen Kilometer oberhalb der eigenen Mündung nimmt die Narowa rechts einen Mündungsarm der Luga, den Rossonfluß, auf.

Während des ältesten Zeitabschnittes des Alluviums — der Zeit des Yoldiameeres — war der Peipussee eine Bucht der Ostsee. Im Laufe der späteren Zeitabschnitte des Alluviums, des Anzylussees und des Litorinameeres, sonderte sich der Peipussee vom Meere ab. Als Verbindungsglied bildete sich die Narowa aus. Das Mündungsgebiet dieses Flusses gehörte noch in jüngerer historischer Zeit dem Meere an.

Der Fluß läßt sich seinen topographischen, geologischen und hydrologischen Eigenschaften entsprechend, außer dem Mündungsgebiet, in vier Teile zerlegen:

1921/22 und 1923/24 unter der Leitung Wellners (25) ausgeführt worden.

Die Eisbildungen verschiedener Art (Obereisschicht und Grundeis) können an Stellen, wo der Abfluß unter erschwerten Bedingungen vor sich geht (Spaltungen, rauhes Flußbett), zu Eisversetzungen führen. Auf der Narowa entstehen die ersten Eisversetzungen, sobald sich unterhalb der Stromschnellen eine Eisdecke bildet. Das Treibeis schiebt sich über und unter die Obereisschicht, das von oben hinzukommende Grundeis füllt fast das ganze Flußbett aus; beides vereinigt sich zu einer zähen, breiartigen Masse, durch die das Wasser nur noch zu sickern vermag. Das führt zu Stauungen oberhalb und zur Erosion der Ufer und des Flußbettes im Gebiet der Eisversetzungen.

Im Frühjahr beginnt der Eisgang Anfang März. Nach Abgang des Flußeises setzt sich das Seeeis in Bewegung. Die letzten Schollen verschwinden erst Anfang Mai.

Obwohl die Eisverhältnisse des ganzen Flußlaufes im Zusammenhange stehen, äußern sie sich jedoch in den einzelnen Flußteilen in verschiedener Art.

Reihenfolge	Einteilung	Entfernung vom Ausfluß km	Mittleres Gefälle	Tiefen im Stromstrich bei Niedrigwasser	Bestand des Flußbettes und der Ufer	Inselbildungen, Untiefen, Stromschnellen
1	Ausfluß bis Werchowski-Insel	0—9	0,000011	3,4—6,1	Die Unterschicht aus Devon-Mergel ist von Alluvialbildungen überdeckt, welche sich stromabwärts vermindern, stellenweise die Unterschicht bloßlegend. Die flachen Ufer bestehen aus Lehm und Sand	Beim Ausfluß hat sich durch Wandersande eine Barre ausgebildet. Inselbildungen treten hervor an der Mündung eines abgestorbenen Ausflußarmes
2	Werchowski-Insel bis Omut	9—18	0,0006 In den Stromschnellen bis 0,0015	2,0—5,8	In den Stromschnellen keilt sich die Mergelschicht aus und legt eine Silur-Kalkstein-Schicht bloß. Unterhalb der Stromschnellen Sandablagerungen. In den Stromschnellen nehmen die Ufer an Höhe zu	Oberhalb und im Gebiete der Stromschnellen spaltet sich der Fluß. Das Gesamtgefälle der Stromschnellen beträgt 5,6 m, bei Qmin (Winter) = 73 cbm. Unterhalb der Stromschnellen Inselbildungen
3	Omut bis Suursaar (Kulgu)	18—57	0,000069	2,5—11,0	Die Kalksteinunterschicht bleibt von Sandablagerungen überdeckt. Die Ufer sind meist flach und bestehen vorwiegend aus Lehm; stellenweise ist das Ufer höher, aus Dünensand bestehend	Flußspaltungen unterhalb Omut und bei Wjaski (km 44—47), wo sich alle Winter Eisversetzungen bilden
4	Suursaar (Kulgu) bis Stadt Narwa: Suursaar bis Wasserfall Wasserfall Wasserfall bis Stadt	 57,0—59,0 59,0—59,1 59,1—61,5	 0,00067 0,080 0,0087	 2,3—4,0	Die Sandablagerungen verschwinden und die Kalkstein-Unterschicht tritt hervor; letztere keilt sich in den Stromschnellen unterhalb des Wasserfalles aus, eine Ober-Kambrium-Sandsteinschicht bloßlegend. Unterhalb des Wasserfalles von einer Diluvialschicht überdeckte Steilufer	Der Fluß spaltet sich oberhalb des Wasserfalles, größere Inseln bildend. Die Flußsohle steigt oberhalb des Wasserfalles an. Das Gesamtgefälle des Wasserfalles und der Stromschnellen bei Narwa beträgt im Mittel 20,66 m

Der Fluß ist im Mittel 300 m breit. Oberhalb des Wasserfalles, bei Kulgu, erreichen die Wasserspiegelschwankungen 2,70 m und betragen während der Sommermonate im Mittel 0,30 m. Die Abflußmengen daselbst sind: die größte 1465 cbm/sek, die kleinste 113 cbm/sek, die mittlere 405 cbm/sek, somit die mittlere Jahresabflußmenge bei einem Zuflußgebiet von 55 887 qkm (bei Kulgu) — 7,25 ltr/qkm.

Von maßgebender Bedeutung für die Narowa und ihre Abflußbedingungen sind die Eisverhältnisse. Die Eisbildung beginnt im November, doch bildet sich eine Obereisschicht gewöhnlich erst Anfang Dezember. Stellenweise friert der Fluß noch später zu, während auf den Stromschnellen in der Regel sich überhaupt keine Obereisschicht bildet. Infolge der stellenweise starken Strömung und des rauhen Flußbettes sowie der damit in Verbindung stehenden offenen Stellen, neigt die Narowa zu Grundeisbildungen und Eisversetzungen. Durch die Wirbelbewegung werden die Wassermassen gut durcheinander gemengt, wodurch bei andauernder Kälte die Wassertemperatur bis zur Sohle hin sinkt. Doch kommt es zu Grundeisbildungen selbst da, wo die Strömung geringer und das Flußbett weniger rauh ist, falls sich oberhalb die Bildung einer Obereisschicht stellenweise verzögert. Die Grundeisbildungen auf der Narowa sind im Winter 1898/99 durch Lüscher (12) eingehend untersucht worden. Ergänzende Beobachtungen sind in den Jahren

Im ersten Flußteil (km 0—9) hat die Eisschicht kurzen Bestand; im Laufe des Winters tritt mehrfach Eisgang ein. In der Nähe des Ausflusses bildet sich mitunter Grundeis, das stellenweise bis an die Oberfläche reicht. Im zweiten Flußteil (km 9—18) kann sich eine Obereisschicht nur bei Eisversetzungen unterhalb bilden; Eisgang findet wiederholt statt. Bei dazu günstigen Witterungsverhältnissen bildet sich hier reichlich Grundeis, das durch die Strömung fortgetragen wird. Bei Eisversetzungen unterhalb steigt der Wasserstand in diesem Flußteil bis 3 m über NN. Das Gefälle wechselt dabei beständig je nach dem Stande der Eisversetzung. Es dauert mitunter Wochen, bis es der Strömung gelingt, die Eisversetzung aufzuräumen. Der Eisgang im Frühjahr erfolgt gewöhnlich ungehindert bei niedrigerem Wasserstande.

Im dritten Flußteile (km 18—57) hält sich die Obereisschicht im Laufe des ganzen Winters, doch verzögert sich stellenweise ihre Bildung. Unterhalb der offenen Stellen, wie zum Beispiel an der Pljussamündung, kommt es dann zu Grundeisbildungen. Mit der Bildung der Obereisschicht beginnen die Eisversetzungen, zuerst an der Flußspaltung bei km 45, dann, einige Tage später, unterhalb der Omutschen Stromschnellen. Von den Ausgangsstellen erstrecken sich die Versetzungen oft bis 6 km oberhalb. Hoher Wasserstand führt oberhalb zu Ueberschwemmungen und kann auch einen nachhaltigeren Einfluß auf die Entwicklung des Flußlaufes ausüben.

Im vierten Flußteile (km 57—61½) bildet sich eine Obereisschicht nur an ruhigeren Stellen. In den Flußarmen oberhalb des Wasserfalles halten sich offene Rinnen in der Regel den ganzen Winter. Die Stromschnellen unterhalb des Wasserfalles frieren nie zu.

Zu Eisversetzungen kommt es oberhalb der Wasserfälle im Laufe des Winters oft. Die Flußarme und Werkkanäle füllen sich dabei mit Eisbildungen bis an den Grund, das Wasser aufstauend und den Betrieb lahmlegend. Es muß dann durch Sprengungen ein Abfluß der Eismassen über dem Wasserfall erzielt werden. Bei der zähen Masse der Grundeisbildungen ist der Erfolg der Sprengungen naturgemäß gering. Auch in den Stromschnellen unterhalb des Wasserfalles liegen günstige Bedingungen zur Grundeisbildung vor. Somit gelangen in das Mündungsgebiet des Flusses im Laufe des Winters größere Mengen Eises verschiedener Art. Das Eis des Peipussees treibt in großen Schollen ab, die sich aber bis zum Wasserfalle stark vermindern oder gänzlich auflösen.

Wie zu ersehen, wechselt die Eigenart der Narowa bis zum Mündungsgebiet mehrfach; Strecken ausgeglichenen Gefälles wechseln mit Stromschnellen ab. Der Fluß befindet sich noch im Entwicklungsstadium, was durch den felsigen Untergrund bedingt ist. Die Schiffahrtsbedingungen sind ungünstig.

1. Vom Peipus bis Kulgu (56 km) können nur kleinere Flußfahrzeuge mit einem Tiefgang bis zu 1 m verkehren.

2. Von Kulgu bis zur Stadt Narwa ist der Fluß nicht schiffbar.

3. Von der Mündung bis zur Stadt ist der Fluß Schiffen mit einem Tiefgang bis 3 m zugänglich.

Somit ist das Mündungsgebiet von dem großen Zuflußgebiet abgeschnitten. In Verbindung mit der Verbesserung der Schiffahrtsverhältnisse der Narowa stehen die Entwässerung der Peipusniederungen und die Ausnutzung der Wasserkräfte der Narowa. Letztere betragen bis 90 000 PS, wovon 77 500 bei der Stadt Narwa vereinigt sind. Die Ausnutzung dieser Kraft in vollem Umfange erfordert eine Regelung des Peipusses, wobei Wasserspiegelschwankungen desselben bis 2 m zugelassen werden dürfen. Schaltet man eine Regelung des Sees aus, so kann mit einer Wasserkraft von 62 000 PS bei Narwa gerechnet werden.

b) Die Narwasche Bucht (Abb. 1).

Die Narwasche Bucht befindet sich im südlichen Teil des Finnischen Meerbusens (zwischen 26° 40' und 28° 8, gerechnet von Greenwich). Die Entfernung zwischen den äußersten Spitzen der Bucht, im Westen Neemeküla, im Osten Kurgalowo, beträgt 63,5 km. Der Bucht vorgelagert sind mehrere kleinere Inseln, wie Groß- und Klein-Tüters; letztere sind 45 km vom Südufer der Bucht entfernt. Die kleinen Inseln bieten keinen genügenden Schutz vor der Wellenbewegung, die sich ungehindert von der Finnischen Küste zur Narowamündung hin entwickeln kann. Die Breite des Finnischen Meerbusens beträgt 110 km, gerechnet von der Südküste der Narwaschen Bucht, die Tiefe der Bucht bis 50 m. Der Strand ist flach, wobei die Wandersande sich mehr im östlichen Teil der Bucht anhäufen. Der Meeresboden besteht aus Schlamm und Sand, seewärts vorwiegend aus Schlamm, zur Küste hin aus Sand. Bei den Inseln und an der Spitze von Kurgalowo ist der Grund steinig; einzelne Findlinge und auch Gruppen sind in der ganzen Bucht zu finden. Während der Eiszeit war die Gletscherbewegung von Finnland aus nach Süden gerichtet, wobei größere Mengen von Abtragungen und Verwitterungsprodukten des Granit-Urgesteins Finnlands in Bewegung gesetzt wurden. Doch auch in der historischen Zeit werden Abbrüche der Granitfelsen Finnlands durch das Treibeis südwärts getragen und gelangen an die Küste Estlands.

Der Höhenzug Nordestlands senkt sich nordwärts zur Küste, den Glint bildend. Am Glint treten die einzelnen Formationen, vom Unter-Kambrium bis zum Silur von Grundmoränenbildungen überdeckt, besonders deutlich zutage. Der Glint zieht sich in östlicher Richtung von Baltischport bis zur Narwaschen Bucht hin. Er verläuft bald hart am Strande, bald einige Kilometer von der Küste entfernt. In der Narwaschen Bucht nähert sich der Glint dem Strande 7 km südlich der westlichen Spitze (Neemeküla). Weiter westlich verläuft dann der Glint den Strand entlang. Bei Mereküll, 8 km vor der Narowamündung, entfernt sich der Höhenzug endgültig von der Küste in östlicher Richtung, zur Stadt Narwa hin. An der Narwaschen Bucht bildet der Glint bald unmittelbar die Küste bei einer Höhe von 60—40 m (Ontika, Päike, Udria) mit einem nur schmalen Vorstrande aus Sand, Lehm, Geröll und Blöcken, bald mit einem breiteren Vorlande aus Moränenbildungen (Sillamägi), in Terrassen zur See hin abfallend. Stellenweise sind die zur Ablagerung gekommenen Verwitterungsmassen so bedeutend, daß die Küste als geneigte Schutthalde zur See hin abfällt. Am Fuße des Glints findet man auch in größeren Mengen Granitfindlinge. Sonne, Niederschläge, Frost einerseits und die Brandung anderseits arbeiten beständig an der Zerstörung der Steilküste. Ihrer Eigenart nach läßt eine Steilküste sich mit dem Oberlauf eines Flusses vergleichen; der Erosion des Flusses mit seiner Geschiebebewegung entspricht die Abscherung (Abrasion) der Steilküste, wobei die Zerstörungsprodukte durch Wellen und Strömungen verfrachtet werden.

An die Steilküste schließt sich bei Mereküll die Flachküste an. Der aus Geröll, Grand und gröberem Sand bestehende schmale Strandstreifen nimmt zur Narowamündung hin an Breite allmählich zu, und sein Bestand geht in feineren Sand über. Näher der Mündung zu treten Dünenbildungen hervor. Das an den Strand anschließende Ufer ist durch Gestrüpp und Waldbestand geschützt. Zerstörungserscheinungen treten erst kurz vor der Mündung zutage. Von Mereküll bis zur Narowamündung hat die Küste die Eigenart eines Flußmittellaufes; Abbruch und Anlandung halten sich ungefähr das Gleichgewicht.

Nordöstlich der Narowamündung herrschen Ablagerungen vor, der Strand wird flacher, die Dünen entwickeln sich; die an den Strand anschließende sandige Küste hat meist Waldbestand. Dieser Teil der Küste, von der Narowamündung bis zu den Steinriffen Kurgalowos, entspricht seiner Eigenart nach dem Unterlaufe eines Flusses.

c) Das Mündungsgebiet (Abb. 8 und Abb. 1 u. 2 auf Tafel 1).

1. Gestaltung des Flußbettes und der Ufer und ihre geologische Entwicklung.

Das Mündungsgebiet der Narowa beginnt bei den oberen Hafenanlagen der Stadt und besitzt eine Länge von 14,5 km. Die Einwirkung des Meeres reicht bis zur Stadt, wie das aus den Schwankungen des Wasserstandes zu ersehen ist. Bei anhaltenderen, stärkeren auflandigen Winden bildet sich bis zur Stadt hin ein negatives Gefälle aus. Der Flußlauf hat von der Stadt aus zur Mündung hin eine westnordwestliche Richtung. Die Silur-Kalksteinund die Ober-Kambrium-Sandsteinschicht, die eine westöstliche Streichrichtung besitzen, enden unterhalb der Stadt. Vom linken Ufer ausgehend, zieht sich ein aus genanntem Gestein bestehender Höhenzug, bis zur Küste westlich von Mereküll in den Glint übergehend. Zur Mündung hin bestehen die Ufer der Narowa aus Diluvial- und näher zur See hin aus Alluvialbildungen auf einer Unterlage aus kambrischem Ton. Die Mündung und die anschließende Küste haben sich aus Dünensand gebildet. Die Ufer haben, unterhalb der Stadt beginnend, bis Törwala (5½ km oberhalb der Mündung) eine mittlere Höhe von 7 m bei verhältnismäßig festem Bestande. Vom linken Ufer zweigt daselbst ein Höhenzug aus früheren Dünenbildungen in südöstlicher Richtung ab. Dieser Höhenzug entspricht wahrscheinlich einer früheren Küstenlinie; ihm vorgelagert ist ein Moor, in dem man Ueberreste von Schiffen gefunden hat. Zur Mündung hin wird das linke Ufer niedriger und hat einen moorigen Bestand; näher zur Mündung im Bereich des Hafens steigt es wieder an, aus Dünensand bestehend. Das rechte Ufer hat von Törwala aus zur Mündung eine Höhe von 8—5 m und fällt als steile Sandböschung zum Ufer hin ab. Oberhalb des Rossonarmes wird das Ufer flach und geht in eine moorige Wiese über. Unterhalb der Rossonmündung beginnt ein steileres Sandufer mit einem Vorstrande.

Die Narowa hat im Mündungsgebiet eine mittlere Breite von 250 m. Der Flußlauf ist meist einheitlich. Stellenweise haben sich kleinere Inseln vom Ufer abgetrennt; eine größere Flußspaltung hat sich nur unterhalb Törwala gebildet, wo die Gesamtbreite 450 m erreicht. Unterhalb der Rossonmündung weicht der Flußlauf aus der bisherigen Richtung in die nördliche ab, wohl unter der Einwirkung der von Westen aus längs der Küste streichenden Wassersande. Das Flußbett verengt sich hier bis auf 117 m. Diese Einengung ist, wie später ausgeführt, im 18. und Anfang des 19. Jahrhunderts durch Ufereinfassungen künstlich herbeigeführt worden. Laut älteren Seekarten soll nach Rummel (29) die Mündung früher bedeutend breiter gewesen sein: im Jahre 1729 — 490 m und im Jahre 1763 — 320 m. Von der Stadt bis zur Mündung hat der Fluß im Stromstrich eine Tiefe von 3—16 m.

Der Rossonarm hat infolge des aus leichtem Sande bestehenden Flußbettes einen veränderlichen Lauf. Er besitzt in der Stromrichtung eine Länge von 27 km bei einer Länge in der Luftlinie vom Ausfluß bis zur Mündung von 15 km, was durch die vielen Windungen bedingt ist. Das absolute Gefälle dieses Flußarmes beträgt: im Winter 0,48 m, im Frühjahr 0,61 m, im Sommer 0,28 m, im Herbst 0,17 m, im Jahre im Mittel 0,38 m. 5 km oberhalb seiner Mündung steht der Rossonarm in Verbindung mit einem Strandsee, der eine Länge von 3 km besitzt und in seinem nördlichen Teil nur durch einen ½ km breiten Strandstreifen vom Meere abgetrennt ist. Der See ist aus dem früheren Bett des Rossonarmes entstanden, der hier unmittelbar in die See mündete. Diese Mündung wurde aber im Laufe der Zeit durch die Wandersande der Küste und die Sinkstoffe des Flusses verschüttet. Die Flußbreite beträgt im Mittel 60 m bei einer mittleren Tiefe von 2,5 m. Vor der Mündung erreicht die Breite 250 m. Hier hat sich ein Delta ausgebildet, das von hohen sandigen Ufern eingefaßt ist. Die Hauptströmung hat sich im mittleren Arm zwischen den Inseln ausgebildet. Im allgemeinen ist die Strömung des Rossonarmes nur gering und hängt von der Höhe des Meeresspiegels ab.

Die Mündung der Narowa.

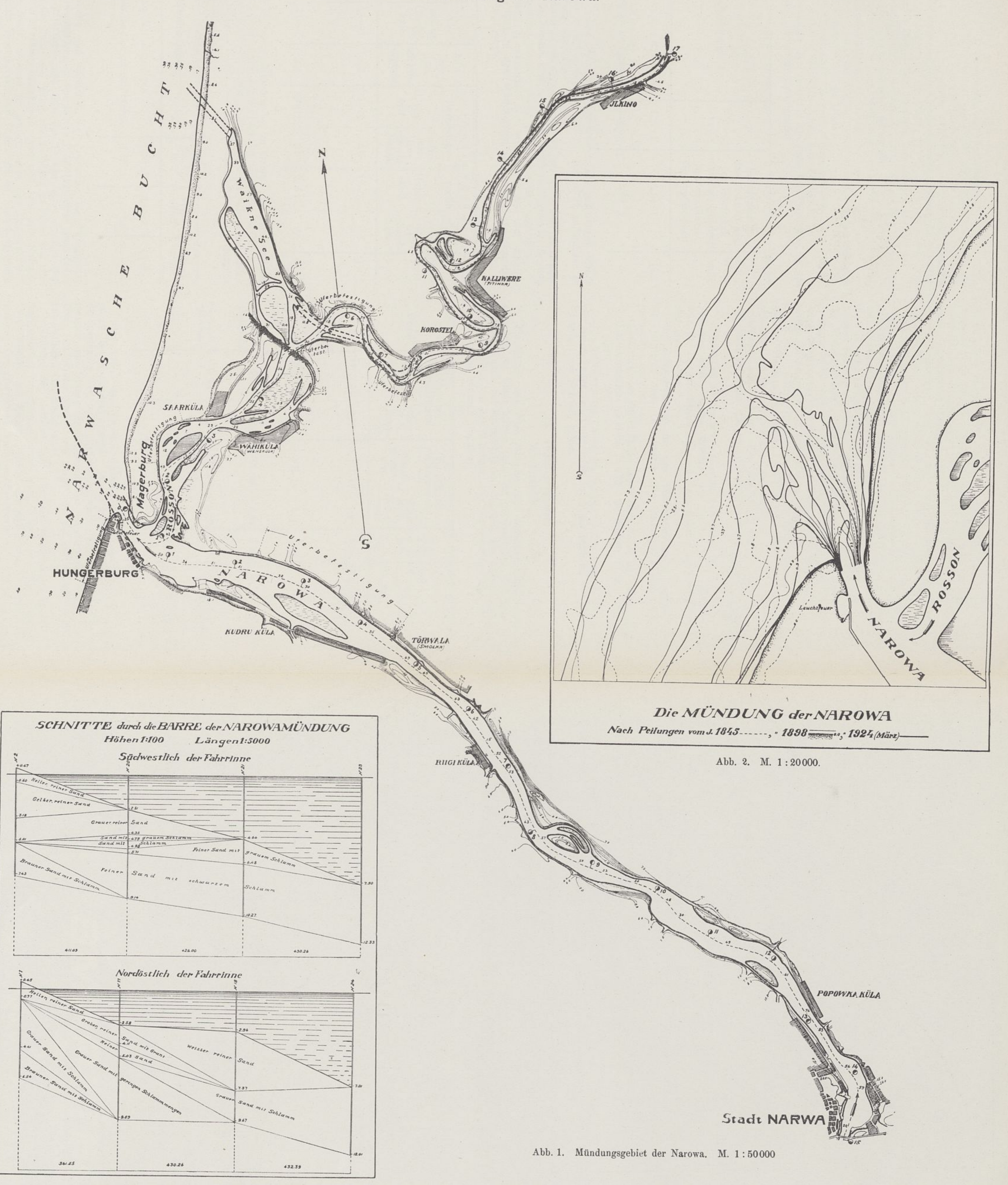
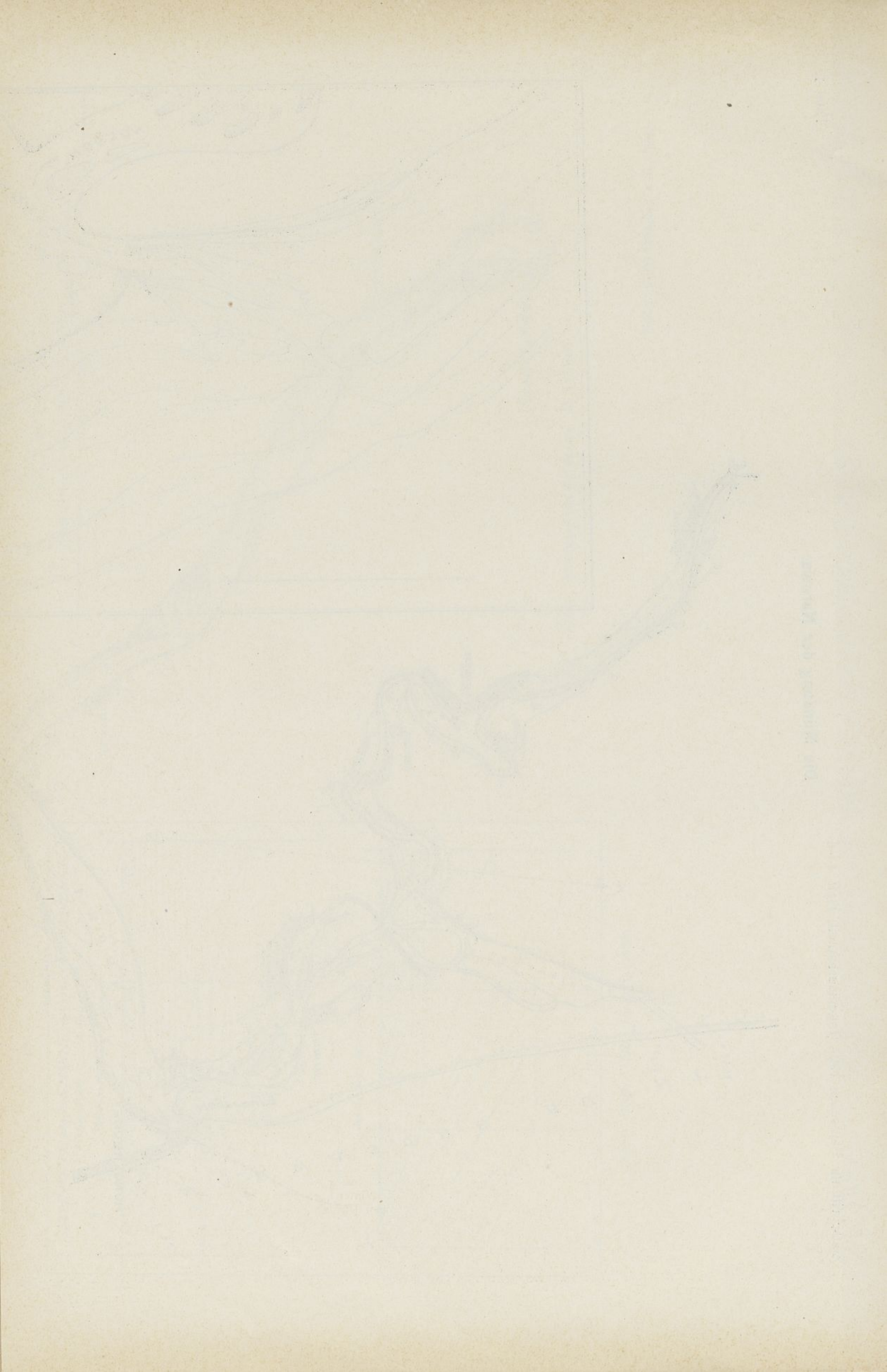


Abb. 1. Mündungsgebiet der Narowa. M. 1 : 50000

Abb. 2. M. 1 : 20000.

Abb. 3. Höhen 1 : 250. Längen 1 : 12500.

Verlag: Guido Hackebeil A.-G., Berlin S 14.



2. Meteorologische Verhältnisse.

Der Küstenstrich verläuft von SSW nach NNO, die Mündung ist somit allen Winden von SW bis N offen. Die herrschende Windrichtung ist die südwestliche (17,8 %); es folgt die westliche (13,1 %). Die größte mittlere Geschwindigkeit besitzen die W-Winde (5,3 m/sek), es folgen die NW-Winde (4,9 m/sek). Die herrschende Windrichtung während der einzelnen Jahreszeiten ist folgende:

im Winter (Dezember, Januar, Februar): SW = 20 v H, bei einer mittleren Geschwindigkeit 4,2 m/sek;
im Frühjahr (März, April, Mai): SW = 14,6 v H, bei einer mittleren Geschwindigkeit 4,2 m/sek;
im Sommer (Juni, Juli, August): W = 17 v H, bei einer mittleren Geschwindigkeit von 4,3 m/sek;
im Herbst (September, Oktober, November): SW = 22 v H, bei einer mittleren Geschwindigkeit von 4,6 m/sek.

Das Verhältnis der einzelnen Gruppen der Windrichtung und ihres Druckes zueinander ist folgendes:

Windrichtungen	Häufigkeit	Winddruck = das Produkt aus der Häufigkeit und dem Quadrat der mittleren Geschwindigkeit	Windstille
Auflandige zu den ablandigen	1,32 : 1	2,64 : 1	12,8 v H.
Linksseitig auflandige zu den rechtsseitig auflandigen..	1,65 : 1	2.09 : 1	—

Daraus ersieht man das Vorherrschen der auflandigen Winde im Verhältnis zu den ablandigen und der linksseitig auflandigen zu den rechtsseitig auflandigen Winden.

Im Vergleich zu den mittleren Werten, die auf Grundlage siebenjähriger Beobachtungen (1887 und 1890—1895) zusammengestellt sind, ergeben diejenigen mancher Jahre bedeutende Abweichungen.

So ergibt ein Vergleich der Windverhältnisse der zweiten Jahreshälfte 1923 zu den Mittelwerten der zweiten Jahreshälften (1887 und 1890—1895):

Juli bis Dezember	Ablandige Häufigkeit	Mittlere Geschwindigkeit	Auflandige linksseitige Häufigkeit	Auflandige linksseitige mittlere Geschwindigkeit	Auflandige rechtsseitige Häufigkeit	Auflandige rechtsseitige mittlere Geschwindigkeit	Windstille
Mittelwerte (1887 und 1890 bis 1895)	38 v H.	3,3	32 v H.	5,0	19 v H	4,9	11 v H.
1923	50 v H.	4,4	25 v H.	8,8	21 v H.	9,4	4 v H.

Aus dieser Zusammenstellung ist zu ersehen: das Vorherrschen in der zweiten Hälfte des Jahres 1923 der ablandigen Winde einerseits, die außergewöhnliche Stärke der auflandigen Winde anderseits.

Für die zweite Hälfte des Jahres 1923 erhält man folgende Verhältnisse:

Windrichtungen	Häufigkeit	Winddruck	Windstille
Auflandige zu den ablandigen	0,92 : 1	3,90 : 1	4 v H.
Linksseitig auflandige zu den rechtsseitig auflandigen	1,19 : 1	1,04 : 1	—

Diese Werte sind angeführt, weil weiterhin die Verhältnisse an der Narowamündung in den Jahren 1923—1924 einer besonderen Betrachtung unterzogen sind. Aus der Tabelle ist zu ersehen, daß die Wirkung der links- und rechtsseitigen Winde im Mittel fast eine gleiche ist. Wie später ausgeführt, ergab sich aber kein Normalzustand der Barre, sondern es erfolgte nach den Herbststürmen eine bedeutende Verringerung der Tiefen. Es ist hierbei erstmalig die Zeitfolge in Betracht zu ziehen und zweitens die außergewöhnliche Stärke einzelner Stürme. Ferner ist infolge der größeren Streichlänge die Wellenbewegung bei den linksseitigen Winden bedeutender als bei den rechtsseitigen. Somit können Mittelwerte wohl gewisse Anhaltspunkte geben, doch lassen sich daraus nicht immer unmittelbare Schlüsse ziehen.

In Anbetracht der an den Flußmündungen auszuführenden Baggerarbeiten wären noch besonders hervorzuheben die stärkeren Winde, bei denen Baggerungen in offener See nicht mehr ausgeführt werden können. An der Narowamündung werden die Baggerarbeiten gewöhnlich von einem seetüchtigen Hopper-Pumpen-Bagger und einem Eimerbagger ausgeführt. Durch die Arbeit des letzteren wird die Fahrrinne ausgeglichen, da mit dem Hopper-Pumpen-Bagger nur Löcher oder unregelmäßige Streifen vertieft werden können und die Strömung zum Ausgleich der Fahrrinne zu schwach ist. Die Baggerarbeiten müssen eingestellt werden, sobald die Windstärken folgende Grenzwerte erreichen: bei ablandigen Winden 5, bei rechtsseitig auflandigen 4, bei linksseitig auflandigen 3.

In der zweiten Hälfte des Jahres 1923 betrug die Häufigkeit solcher Winde in Prozenten:

ablandige mit einer Windstärke von 5 und mehr	6 v H
rechtsseitig auflandige mit einer Windstärke von 4 u. mehr	14,3 v H
linksseitig auflandige mit einer Windstärke von 3 und mehr	15,9 v H
zusammen	36,2 v H

Daraus ist zu ersehen, daß man gezwungen ist, in Jahren mit außergewöhnlich starken Winden, wie das im Jahre 1923 der Fall war, die Baggerarbeiten während eines Drittels der Gesamtarbeitszeit einzustellen.

Im Zusammenhang mit den Windverhältnissen wären noch die mittleren und Grenzwerte des Luftdruckes und der Lufttemperatur anzuführen:

Luftdruck: im Mittel 758,8, der höchste 787,6, der tiefste 719,0;
Lufttemperatur: im Mittel + 4,74 °, die höchste + 32,0 °, die niedrigste — 28,0 °.

Ein bedeutenderes Fallen des Wasserspiegels steht in der Regel mit einem Fallen des Luftdruckes im Zusammenhang und kann als Vorbote eines Sturmes gelten.

3. Abflußverhältnisse.

Wasserstand.

Messungen des Wasserstandes des Mündungsgebietes finden statt bei der Stadt Narwa (14,5 km oberhalb der Mündung), auf dem Rossonarm bei Korostel (8 km oberhalb der Narowamündung) und unmittelbar vor der Mündung. Die Wasserspiegelschwankungen kennzeichnen folgende Angaben:

Pegel	Höchster Wasserstand: Wann gemessen	Höchster Wasserstand: über N. N. (Kronstadt)	Niedrigster Wasserstand: Wann gemessen	Niedrigster Wasserstand: über N. N. (Kronstadt)	Schwankungen m	Mittlerer Wasserstand	Anm.
Stadt Narwa — im Laufe des Jahres;	27. I. 24	3,90	25. VII. 10	– 0,40	4,30	+ 0,75	Beobachtungszeit 11 Jahre
während d. eisfr. Zeit	12 XI. 03	2,06	25. VII. 10	– 0.40	2,46	+ 0,30*)	*) Im Sommer
Korostel (Rossonarm)	19. IV. 24	1,95	14. VI. 24	– 0,34	2,29	—	Seit VII. 1923 bis I 1925
Narovamündung	IX. 24	1,96**)	20. XI 23	– 0,85	2,81	0,20	**) Nach Rummel (29) 4. IX. 97 2,23 Beobachtungszeit 1898/1899 und IV. 1923 bis I. 1925

Der Abfluß der Narowa oberhalb des Mündungsgebietes wird durch den Peipussee geregelt. Da unterhalb des Peipussees nur der geringere Teil des Zuflußgebietes liegt, können Niederschlagsmengen und Schneeschmelze keinen so unmittelbaren Einfluß ausüben. Im Winter findet, wie ausgeführt, der Abfluß unter außergewöhnlichen Umständen statt.

Während der eisfreien Zeit steht der Wasserstand des Mündungsgebietes vorwiegend unter dem Einfluß der Wasserspiegelschwankungen des Meeres. Selbst der Abfluß des Frühjahrshochwassers übt gewöhnlich keine nennenswerte Einwirkung auf den Wasserstand aus; während dieser Zeit steigt der Wasserstand bei der Stadt Narwa nur in besonders wasserreichen Jahren. Stärkere

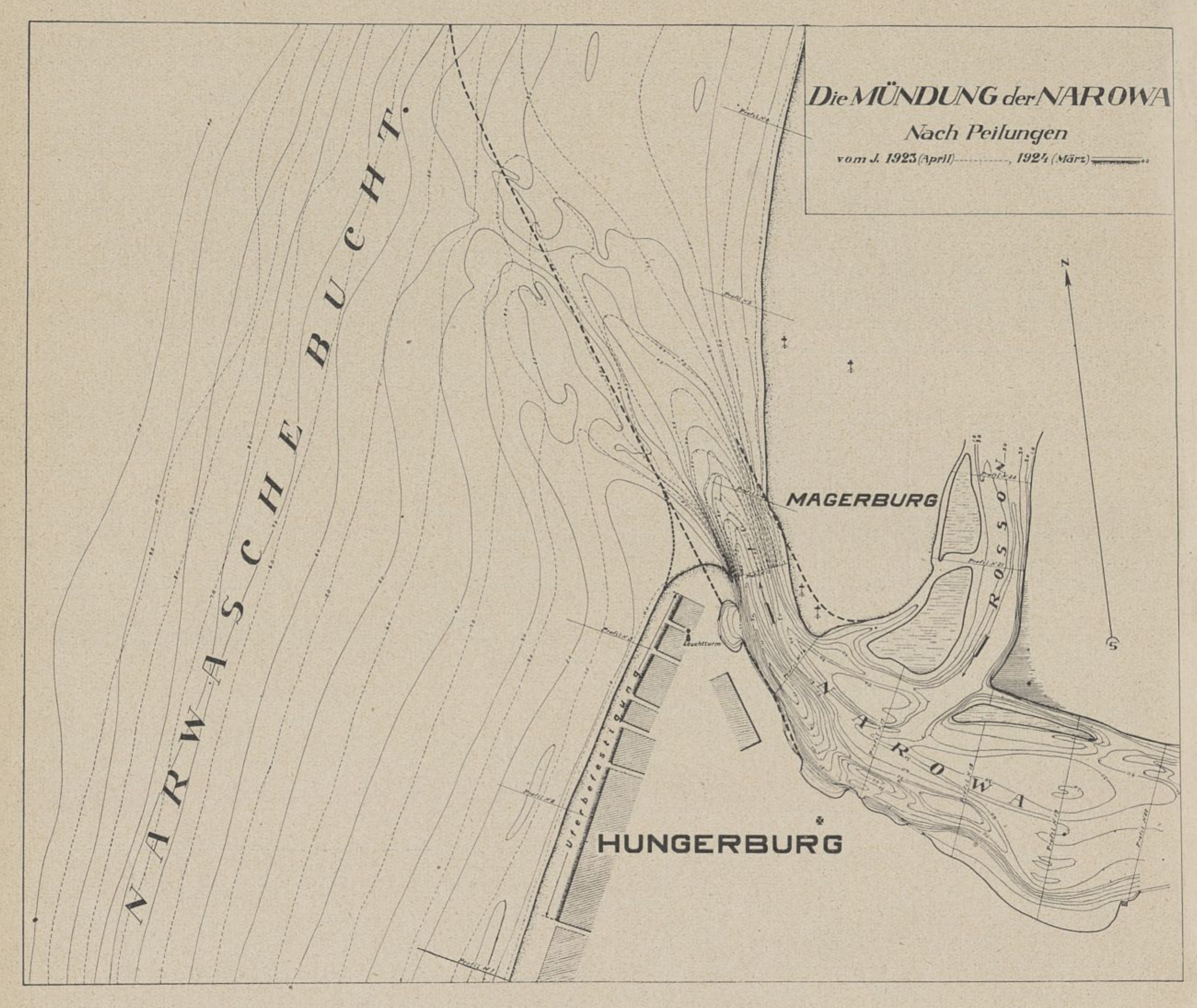


Abb. 8. M. 1 : 15000.

Winde aus der Richtung zwischen SW und N rufen dagegen immer ein Ansteigen des Wasserspiegels hervor, während bei ablandigen Winden derselbe fällt. An der Mündung sind innerhalb 6—10 Stunden Schwankungen bis 1,48 m beobachtet worden; hier macht sich jeder Wechsel in der Richtung und Stärke des Windes durch entsprechende Wasserstandsschwankungen bemerkbar. Bei der Stadt, 14,5 km oberhalb, sind diese Schwankungen naturgemäß geringer, doch immerhin ähnlich denjenigen an der Mündung. Besonders tritt die Wirkung der auflandigen Winde von der Stärke 5 an hervor. Da der Wasserstand an den Pegeln der Mündung nur dreimal täglich gemessen wird, und die Beobachtungen eine zu geringe Zeitdauer umfassen, läßt sich der Zusammenhang zwischen der Windrichtung und Windstärke einerseits und dem Wasserstande anderseits mathematisch nicht ausdrücken.

Im Zusammenhang mit den Wasserspiegelschwankungen im Mündungsgebiet steht das Gefälle, welches seiner Größe und selbst seiner Richtung nach öfterem Wechsel unterworfen ist.

Das mittlere Gefälle bei niedrigem Meeresspiegel kann angenommen werden: zwischen der Stadt Narwa und der Mündung 0,000016, zwischen Korostel (Rossonarm) und der Narowamündung 0,0000035. Bei ansteigendem Meeresspiegel ist das Gefälle der unteren Strecke des Mündungsgebietes oft gleich Null und mitunter bis Korostell einerseits und bis zur Stadt anderseits negativ. Zu verschiedener Zeit vorgenommene Nivellements haben ergeben, daß das Gefälle sich nicht gleichmäßig auf der Mündungsstrecke verteilt, ein ungefährer Brechpunkt kann auf der Narowa, 9 km oberhalb der Mündung, angenommen werden.

Zur genaueren Erforschung der Abflußverhältnisse und Sinkstoffbewegung müßte bei ansteigendem Meeresspiegel der Verlauf der Stauwelle bestimmt werden, wozu eine Reihe selbstschreibender Pegel aufzustellen wäre.

Geschwindigkeiten und Abflußmengen.

Geschwindigkeitsmessungen und Abflußmengenbestimmungen sind an der Mündung und bei Korostel (Rossonarm) ausgeführt. Die Ergebnisse der Messungen an der Mündung lassen sich in zwei Gruppen zusammenfassen:

Zeit	Geschwindigkeiten		Abflußmengen	
	Mittleres Profil	Oberflächen-Profil		
	m/sek		cbm	
1923: Juli bis Oktober	0,338 (0,279 bis 0,411)	0,464 (0,377 bis 0,591)	414 (337,66 bis 509,89)	Es sind ausgeführt: 11 Flügel- und 11 Schwimmermessungen
November bis Dezember	0,790 (0,685 bis 0,939)	1,270 (1,064 bis 1,429)	972 (826,42 bis 1207,79)	

An der Mündung besteht zwischen dem Wasserstande und der Abflußmenge kein bestimmtes Verhältnis. Bei niedrigeren Wasserständen sind die Geschwindigkeiten oft verhältnismäßig größer und dementsprechend die Abflußmengen. Zum Beispiel, wenn nach einem Aufstau des Flußwassers der Meeresspiegel plötzlich sinkt, erfolgt

bei niedrigem Wasserstande an der Mündung ein kräftiger Ausstrom. Ein Vergleich einzelner Abflußmengen oberhalb des Mündungsgebietes und an der Mündung ergibt:

Wasserstand über NN in Kulgu	Abflußmengen in cbm/sek	
	Kulgu	Narowamündung
21,00	288	322
21,20	400	460
22,00	912	1076
22,30	1140	1300

Aus diesen Angaben könnte man schließen, daß die Abflußmengen an der Mündung um 15 v H größer sind, als diejenigen oberhalb des Mündungsgebietes, wobei das Verhältnis der Größen der Zuflußgebiete $\frac{\text{Mündung} = 56\,056}{\text{Kulgu} = 55\,887} = 1{,}003$ ist. Doch ist zu beachten, daß an der Mündung bei gleichem Wasserstande die Abflußmengen bis 23 v H schwanken können.

Auf die Abflußmengen an der Mündung der Narowa übt auch der Rossonarm und somit der Wasserstand der Luga einen Einfluß aus. Bei Korostel (9 km oberhalb der Narowamündung) ausgeführte Messungen erlauben noch kein abschließendes Urteil über die Abflußbedingungen dieses Armes der Luga. Elf im September und November 1923 ausgeführte Schwimmermessungen ergaben:

Oberflächengeschwindigkeiten . . von 0,133 bis 0,923 m/sek
Abflußmengen . . . . von 18,48 bis 112,45 cbm/sek

Auch hier stehen die Abflußmengen in keinem regelrechten Verhältnisse zu dem Wasserstande. Zur Lösung der Abflußfrage des Rossonarmes würde eine Bestimmung der Stauwellen von der See aus bei verschiedenen Wasserständen notwendig. Es könnte dann auch das Verhältnis zwischen Geschwindigkeit und Gefällen festgelegt werden. Zu Beginn der Entwicklung einer Stauwelle von der Narowamündung aus kann oberhalb im Rossonarm das Wasser noch zur Mündung hinabfließen, selbst bei schon verhältnismäßig höherem Wasserstande an der Mündung. Wie weit das negative Gefälle von der Mündung aus den Rossonarm hinauf reichen kann, ist nicht gelungen, zu bestimmen. Doch es ist wohl kaum anzunehmen, daß der Abfluß aus der Luga in den Rosson vollkommen zum Stillstand gebracht wird, da bei Ansteigen des Meeresspiegels in der Narwaschen Bucht derselbe in der Regel auch in der Lugabucht anschwillt.

Der Abfluß der Narowa und des Rossonarmes wird in der Regel von der See aus nur während einer kurzen Zeitdauer zum Stillstand gebracht. Ein Ansteigen des Wasserstandes des Mündungsgebietes über 1 m ist bei solchen Stauungen nicht beobachtet worden. Bei einer Anschwellung von 1 m kann das Mündungsgebiet (gerechnet 15 km von der Mündung, in der Richtung der Narowa und des Rossons) einen Zufluß von fünf Stunden aufspeichern.

Das aus der Mündung der Narowa ins Meer ausströmende Flußwasser erhält sich noch bis 2000 m und weiter seewärts, von der Mündung gerechnet, eine merkliche Oberflächengeschwindigkeit.

Von der Mündung bis 800 m seewärts setzt sich die Strömung in der Richtung des Flusses fort, auf die weitere Stromrichtung üben schon die Winde einen Einfluß aus, doch ist ein Abweichen nach links von der Mündungsrichtung nur ausnahmsweise zu verzeichnen. Aus den Oberflächengeschwindigkeiten lassen sich noch keine Schlüsse auf die aufräumende Kraft der Strömung ziehen. Die Tiefen nehmen von der Mündung aus schnell ab, der Fluß vermag sich sein Bett im Meeresboden nicht zu erhalten, und die tiefere Rinne wird durch eine Barrenbildung abgeschlossen. Augenscheinlich kann sich das Flußwasser nur an der Oberfläche weiter ausbreiten, während in den tieferen Schichten das schwerere Seewasser bis an die Mündung reicht und bei auflandigen Winden längs der Flußsohle und den Ufern in den Fluß eindringt.

4. Eisverhältnisse.

Von der Stadt Narwa bis zur Rossonmündung ist der Fluß von einer Obereisschicht im Mittel von Anfang Dezember bis Mitte April bedeckt. Auf dem Rossonarm bildet sich eine Eisschicht in der Regel schon früher. Von der Rossonmündung seewärts verzögert sich gewöhnlich die Eisbildung, wobei mitunter stellenweise sich überhaupt keine dauernde Eisdecke bildet. Die Bucht friert im Mittel erst Anfang Januar zu und wird Ende April eisfrei. Im Winter 1923/24 bildete sich eine feste Obereisschicht bis zur Rossonmündung erst Ende Dezember. Später entwickelte sich eine Eisschicht weiter seewärts nur im mittleren Teil des Flusses bis unterhalb der Rossonmündung, wobei an beiden Ufern offene Rinnen, die sich unterhalb vereinten und bis in das Seegatt hineinreichten, den ganzen Winter bestehen blieben. Die Bucht bedeckte sich im Laufe des Februar mit einer festen Eisschicht.

Aus der Beschreibung der Eisverhältnisse der Narowa vom Ausfluß bis zum Mündungsgebiet war zu ersehen, daß größere Mengen Eises verschiedener Art von den Stromschnellen aus in das Mündungsgebiet gelangen. Dadurch kann bei entsprechenden hydrometeorologischen Verhältnissen der Abfluß auch in der Mündungsstrecke behindert werden. Unterhalb der Stromschnellen, bei der Stadt Narwa und weiter seewärts, kommt es oft zu Eisversetzungen. Der Fluß vermag hier nicht immer die hinzukommenden Grundeisbildungen weiter zu verfrachten; diese füllen dann das Flußbett stellenweise bis an die Sohle an, das Wasser oberhalb stauend. Es bedarf dann oft längerer Zeit, bis es der Strömung gelingt, die Stopfung aufzuräumen. Größere Eisversetzungen bilden sich gewöhnlich nur in wasserreicheren Jahren, so z. B. im Winter 1923/24. Die Niederschlagsmenge im Jahre 1923 betrug oberhalb des Mündungsgebietes 846,4 mm; davon entfielen auf die Monate August—November 448,9 mm, also über 50 v H. Im Herbst 1923 erreichte dementsprechend der Wasserspiegel im ganzen Zuflußgebiet einen außergewöhnlichen Stand, so daß die Abflußmengen und die Geschwindigkeit der Strömung beständig wuchsen. Dadurch wurde eine regelmäßige Eisbildung verzögert, während die Grundeisbildungen bei der herrschenden Kälte sich stark entwickeln konnten.

Da nun im Winter einzelne Faktoren, wie Wasserspiegelschwankungen, Gefälle und Geschwindigkeiten, stellenweise ihre Höchstwerte erreichen, ist anzunehmen, daß die Eisverhältnisse einen nachhaltigen Einfluß auf die Entwicklung des Laufes der Narowa und insbesondere auch der Mündung sowie der Barrenbildung ausüben und oft maßgebend für die weitere Entwicklung der Verhältnisse im Laufe der eisfreien Zeit sind. Hierbei sind vor allem die Grundeisbildungen und Eisversetzungen in Betracht zu ziehen. Der Eisgang vollzieht sich im Mündungsgebiet bei verhältnismäßig niederem Wasserstand in der Regel ungehindert, ist von kurzer Dauer und von keinen Eisversetzungserscheinungen begleitet.

Die Dicke der Eisdecke übersteigt in der Regel nicht 0,50 m; nur an den Stellen, wo sich Eisversetzungen bilden, ist sie größer infolge der sich an die Decke anschließenden Grundeisbildungen.

5. Meeresströmungen und Wellenbewegung.

Meeresströmungen.

Die Meeresströmungen in der Narwaschen Bucht werden durch die Winde hervorgerufen, wobei die Stromrichtung öfterem Wechsel unterworfen ist.

Links von der Mündung herrscht eine Küstenströmung vor in der Richtung zur Flußmündung hin, die dann vor der Mündung durch die Flußströmung nach Norden abgelenkt wird. Diese Strömung ist stärker:

1. bei einer Windrichtung zwischen Süd und West;
2. bei steigendem Wasserstand an der Mündung;
3. weiter seewärts, wo bei anwachsender Tiefe ein geringerer Widerstand zu überwinden ist.

Wieweit seewärts sich noch eine Strömung bemerkbar macht, ist nicht festgestellt worden. Bei fallendem Wasserstand an der Mündung herrscht die Richtung von der Mündung zur See vor. Es scheint jedenfalls bei geringerer Windstärke der Einfluß der Wasserspiegelschwankungen für die Strömungsrichtung ausschlaggebender als die jeweilige Windrichtung zu sein. Für die Strömungsverhältnisse rechts von der Mündung ist meist die Flußströmung ausschlaggebend. Wie angeführt, breitet sich das Flußwasser mehr rechts von der Mündung als Oberschicht aus. Beobachtet sind nur die Oberflächengeschwindigkeiten, außerhalb der Brandungszone können aber bei genügender Tiefe sich auch Unterströmungen (Sog) ausbilden.

Der Wasserstand in der Narwaschen Bucht und auch die Strömungen stehen naturgemäß mit den entsprechenden Faktoren der Ostsee in Zusammenhang. Im Finnischen Meerbusen steigt in der Regel der Wasserstand bei W-Winden und fällt bei N-Winden. In der Narwaschen Bucht kann aber das Wasser auch bei letzterer Windrichtung durch die aus dem östlichen Teil des Finnischen Meerbusens zusammengetriebenen Wassermengen zeitweilig angestaut werden.

Von größerer Bedeutung für die Entwicklung der Mündungsverhältnisse sind die sich während und nach stärkeren Winden und Stürmen ausbildenden Strömungen. Es wird dann meist eine Strömung aus der dem Winde entgegengesetzten Richtung beobachtet, die eine Geschwindigkeit von 0,5 m erreicht, wobei sich Seitenströmungen längs der Küste entwickeln.

Wellenbewegung.

In der zweiten Hälfte des Jahres 1923 (Juli—Dezember) wurden an der Narowamündung 192 Wellenmessungen ausgeführt, und zwar im Seekanal auf der Entfernung eines Kilometers von der Mündung bei einer Tiefe von 2 m. Die Höhe, die Länge und die Periode der Wellen wurden von einem Boot aus, das länger als die beobachteten Wellen war, an einem ständigen Seezeichen gemessen. Die Ergebnisse lassen sich, den Windrichtungen entsprechend, in drei Gruppen zusammenfassen: bei ablandigen, linksseitig auflandigen

und rechtsseitig auflandigen. Die Streichlänge der Winde bis zum Beobachtungspunkt beträgt:
ablandige (NNO—SSW) im Mittel 3 Seemeilen (5½ km),
linksseitig auflandige (SW—W) im Mittel 32 Seemeilen (59 km),
rechtsseitig auflandige (WNW—N) im Mittel 66 Seemeilen (122 km).

Für jede gemessene Wellenlänge sind dann die entsprechenden Mittelwerte der gemessenen Wellenlänge und Wellenperiode sowie der zur Zeit der Messungen beobachteten Windstärke und Windgeschwindigkeiten berechnet.

Aus diesen Beobachtungen sind folgende Ergebnisse abzuleiten:

1. Mit der Wellenhöhe wächst die Wellenlänge L, doch in geringerem Maße. Dementsprechend wächst das Verhältnis $\frac{h}{L}$ von 0,12 bis 0,38 oder, bei Ausschluß der Wellen von geringer und außergewöhnlicher Höhe, von 0,2 bis 0,3. Diese Verhältniswerte kennzeichnen die kurzen Wellen des östlichen Teiles der Ostsee im Vergleich zu den längeren Wellen des offenen Meeres.

2. Solange die Wellenlänge kleiner als die Tiefe T blieb, war die beobachtete Geschwindigkeit ungefähr gleich den nach der Theorie der Oberflächenwellen (Tiefwasserwellen) berechneten Werten. Bei einer Wellenlänge von $\frac{L}{T} = 1$ bis 2 blieb die Geschwindigkeit im allgemeinen konstant und war somit unabhängig von der Wellenlänge und auch von der Windgeschwindigkeit. Das könnte zur Annahme führen, daß bei letzterer Wellenlänge die Bewegung der Wasserteilchen geradlinig hin und her geht, wie bei den Grundwellen.

3. Zwischen der Wellenhöhe und der Streichlänge läßt sich kein bestimmtes Verhältnis nachweisen, doch ist jedenfalls bei gleicher Windgeschwindigkeit die Wellenhöhe bei ablandigen Winden geringer als bei auflandigen. Die am häufigsten beobachtete Wellenhöhe beträgt bei ablandigen Winden — 0,30 m, bei linksseitig auflandigen — 0,61 bis 1,07 m, bei rechtsseitig auflandigen — 0,91 bis 1,07 m. Die größte beobachtete Wellenhöhe beträgt: bei ablandigen Winden — 1,14, bei linksseitig auflandigen — 1,60 m, bei rechtsseitig auflandigen — 1,98 m.

Die Wellen wurden bis zu einer Windstärke 9 nach Beaufort beobachtet, während das Höchstmaß der Windstärke mit 10 angenommen werden kann. Deshalb dürfte die größte Wellenhöhe 2 m nur um ein Geringes übersteigen.

Unmittelbare Beobachtungen der Brandungstiefen liegen nicht vor. Ein Vergleich zu verschiedener Zeit aufgenommener Peilprofile läßt darauf schließen, daß eine Brandung von der 3 m-Tiefe an erfolgen dürfte, da bis zu dieser Tiefe größere Unregelmäßigkeiten in den Profilen hervortreten. Die 3 m-Tiefenlinie befindet sich im Mittel auf einer Entfernung von 300 m von der Küste.

6. Geschiebe- und Sinkstoffbewegung.

Zur Flußmündung findet eine Geschiebe- und Sinkstoffbewegung sowohl vom Fluß als auch von der Küste aus statt.

Die Bewegung im Mündungsgebiet.

Das Flußbett liegt auf einer Unterschicht aus blauem kambrischen Ton. An den Ufern besteht die Oberschicht aus Sanden und Lehmen diluvialer Bildung, während die Flußsohle von Sand- und Schlammablagerungen überdeckt ist. 6 km oberhalb der Mündung fällt die Tonunterschicht in größere Tiefen ab. Weiter zur Mündung hin bestehen das Flußbett und die Ufer fast ausschließlich aus feinkörnigem Sande alluvialer Bildung. Auf der oberen Strecke des Mündungsgebietes haben die Ufer einen verhältnismäßig festen Bestand und bieten der Strömung genügenden Widerstand. Abbruchsstellen zeigen sich am rechten Ufer zwischen km 6 und 3 oberhalb der Mündung. Die steile Sandböschung wird hier bei jedem höheren Wasserstand (von + 0.70 über NN an) unterspült, wobei größere Sandmassen zusammen mit dem Baumbestand zum Absturz gelangen. Im Laufe des Jahres 1923/24 hatte der Abbruchsstreifen stellenweise eine Breite bis 40 m erlangt. Der von oben nachstürzende Sand bleibt zum Teil am Fuße der Böschung liegen, zum Teil wird er von den Wellen fortgespült und von der Strömung weiterverfrachtet. Er kommt augenscheinlich an der unterhalb der Abbruchsstelle gelegenen Insel zur Ablagerung, während die feineren Sinkstoffe wohl noch weiter flußabwärts getragen werden. Mit der Abnahme der Höhe des rechten Ufers, zur Rossonmündung hin, vermindern sich die Abbruchserscheinungen. Am linken Ufer tritt bis zur Rossonmündung kein nennenswerter Abbruch hervor. Die Ufer und daß Flußbett des Rossonarmes bestehen vorwiegend aus feinem Sande. Abbruchs- und Anlandungserscheinungen treten abwechselnd auf und geben dem Laufe dieses Armes ein veränderliches Gepräge. Abbruch zeigt sich hauptsächlich bei von der Strömung unmittelbar unterspülten Steilufern aus feinerem Sande, so am linken Ufer zwischen km 7,5 und 6,5 sowie 5,5 und 5 und auch am rechten Ufer oberhalb der Seemündung. Im Delta des Rossons hat sich die Hauptströmung im mittleren Arm ausgebildet, so daß die höheren Sandufer des Deltas nur bei Hochwasser unterspült werden. Die Sandbänke an der Mündung des Rossons sind, was Lage und Form anbetrifft, häufigeren Aenderungen unterworfen. Bei der geringen Strömung dieses Armes kommen die Geschiebe und schweren Sinkstoffe im Mündungsdelta zur Ablagerung; nur zur Zeit des Eisganges und Hochwassers werden sie in die Narowa und weiter seewärts fortbewegt. Der Rosson mündet unter einem rechten Winkel und drängt die Narowaströmung ans linke Ufer, wo sich einzelne Abbruchsstellen gebildet haben. So wurde im Jahre 1924 nach dem Eisgang aus dem Ufer eine Lücke von 2000 qm bis zu einer Tiefe von 6 m im Laufe weniger Stunden ausgewaschen, nachdem die an dieser Stelle befindliche Landungsanlage zerstört war. Unterhalb der Rossonmündung sucht die Narowa naturgemäß ihr an dieser Stelle eingeengtes Bett wieder zu verbreitern, der Abbruch an den Ufern wird aber durch ältere Uferbefestigungen aufgehalten. Somit war der Fluß gezwungen, sich das notwendige Abflußprofil durch Vertiefung seines Bettes zu bilden. Infolgedessen erreichten die Tiefen am linken Ufer 16 m. Im engen Mündungsprofil entwickeln sich, wie angegeben, bei einer Abflußmenge von 1000—1200 cbm Höchstgeschwindigkeiten bis 1,4 m bei einer mittleren Profilgeschwindigkeit von 1 m.

Somit kann angenommen werden, daß beim Abfluß einer Höchstwassermenge von 1700 cbm die Höchstgeschwindigkeiten, bei einer mittleren Profilgeschwindigkeit von 1,3 m/sek 2,0 m/sek erreichen dürften. Dementsprechend ist dann die aufräumende Wirkung der Strömung groß. Das bezieht sich aber nur auf eingeengte Profilstellen beim Abfluß des Hochwassers. Bei normalen Verhältnissen sind dagegen das Gefälle und die Strömung im Mündungsgebiet äußerst gering. Aus dem Flußlauf oberhalb gelangen wohl kaum über den Wasserfall und die Stromschnellen nennenswerte Sinkstoffmengen ins Mündungsgebiet. Die Entstehung und Bewegung des Geschiebes und der Sinkstoffe beschränken sich daher hauptsächlich auf das Mündungsgebiet selbst. Infolge der Trägheit der Strömung überwiegen in der Regel Ablagerungserscheinungen. Damit wären die normalen Verhältnisse gekennzeichnet.

Abweichende Erscheinungen treten im Winter und bei außergewöhnlichem Hochwasser auf. Bei Grundeisbewegungen und Eisversetzungen bilden sich große Gefälle aus und entwickeln sich hauptsächlich an der Flußsohle starke Strömungen, was zur Erosion des Flußbettes führt.

Die größten Veränderungen in den Mündungsverhältnissen der Narowa treten im Frühjahr hervor, obwohl der Abfluß des Frühjahrshochwassers in der Regel bei niedrigerem Wasserstande und geringerem Gefälle erfolgt. Die sich dabei entwickelnde Sinkstoffbewegung wird fraglos durch die Erscheinungen des Winters vorbereitet, wobei die schon losgelösten Stoffe im Frühjahr nur weiter zur Mündung getragen werden. Durch das Grundeis und den Eisgang gelangen auch aus dem oberen Laufe des Flusses Geschiebe- und Sinkstoffe in das Mündungsgebiet. Durch die im Wasser treibenden Eis- und Schneekristalle werden die Sinkstoffe gebunden und verfrachtet. Grundeisbildungen heben an die Oberfläche größere Mengen Geschiebes, womit auch die Unterfläche der Eisschollen oft bedeckt ist. Die so vorbereitete und begonnene Sinkstoffbewegung gelangt im Frühjahr zum Abschluß, was dann ein Anwachsen der Barre und eine Verringerung der Tiefen des Seegattes zur Folge hat.

Im hydrometischen Profil, unmittelbar vor der Narowamündung, sind in der zweiten Hälfte des Jahres 1923 zu verschiedenen Zeiten und aus verschiedener Tiefe Wasserproben entnommen, die im Mittel auf jeden Kubikmeter Wassers, das ist eine Million Gramm, 77 Gramm anorganischer und 63 Gramm organischer Stoffe, zusammen 140 Gramm, ergaben. Da der Sinkstoffgehalt des Wassers durch Verdampfung bestimmt wurde, sind in diesen 140 Gramm nicht allein die aufgeschwemmten, sondern auch die gelösten Stoffe enthalten, wobei das Verhältnis der beiden Stoffarten zueinander leider nicht bekannt ist. Zum Vergleich können angeführt werden die Ergebnisse der von Glasenapp ausgeführten Untersuchungen des Dünawassers bei Riga. Glasenapp fand auf jeden Kubikmeter Wasser 171 Gramm an Stoffen, davon 161,6 gelöste und 9,4 Gramm aufgeschwemmte. Der angegebene Gehalt an aufgeschwemmten Stoffen bezieht sich aber auch nur auf normale Abflußbedingungen und soll zur Eiszeit im Mittel bis auf 204 Gramm im Kubikmeter steigen.

Das gleiche Verhältnis für die Narowamündung bei normalen Abflußverhältnissen annehmend, erhalten wir auf jeden Kubikmeter Wasser 7 Gramm aufgeschwemmter und 133 Gramm gelöster Stoffe. Hierbei ist aber zu berücksichtigen, daß die organischen Stoffe sich wohl kaum in gelöstem Zustande befunden haben. In ihrer Wirkung in bezug auf die Barrenbildung können sie aber den gelösten Stoffen gleichgesetzt werden, da sie wahrscheinlich erst weiter seewärts zur Ablagerung kommen. Somit könnte angenommen werden, daß bei normalen Abflußverhältnissen unmittelbar zur Barrenbildung die in jedem Kubikmeter Wasser enthaltenen 7 Gramm aufgeschwemmter anorganischer Stoffe beitragen. Während des Eisganges steigt auch an der Narowamündung der Gehalt an aufgeschwemmten Stoffen bedeutend. So hat Rummel (29) während des Eisganges des Jahres 1899 in 1½ Fuß über der Sohle entnommenen Wasserproben gefunden:

Ort	Bestand an Sinkstoffen	In 1 Kubikmeter Wasser cbm	kg
Rosson	In 350 cbm Wasser 7 cbcm Sand . .	0,020	30,0
Narowa oberhalb der Rossonmündung	Die entnommenen Wasserproben enthielten keinen Sand.	—	—
Narowa unterhalb der Rossonmündung	In 356 cbcm Wasser 2 cbcm Sand . . .	0,0056	8,4
Im Seegatt auf der Barre	In 400 cbcm Wasser 2 cbcm Sand und Schlamm	0,0050	7,5

Damit wären die Höchstwerte bezeichnet. Angaben über Mittelwerte an Sinkstoffgehalt während des Eisganges und des Abflusses des Hochwassers sind nicht vorhanden, doch dürften dieselben die Mittelwerte beim Normalabflusse zum mindesten um das 25fache übersteigen, d. h. auf je 1 cbm Wasser 175 Gramm betragen. Bei der Annahme, daß im Laufe von zehn Monaten der Fluß die gemessenen Mittelwerte an Sinkstoffen führt, und nur während zweier Monate der Sinkstoffgehalt die mittleren Höchstwerte erreicht, läßt sich die jährliche Menge an festeren Sinkstoffen an der Mündung wie folgt berechnen:

Zeitdauer	Auf 1 cbm Wasser an festeren Sinkstoffen		Bei einer mittleren Abflußmenge während 10 Monaten von 340 cbm/sek 2 „ „ 675 „ „ an festeren Sinkstoffen		
	kg	cbm	cbm/sek	cbm/24 St.	Gesamt
10 Monate	0,007	0,00000467	0,001588	137	41 650
2 „	0,175	0,0001167	0,078773	6800	414 800
					456 450

Außer den Sinkstoffen wäre noch das Geschiebe, welches sich längs der Ufer rollend und schiebend fortbewegt, zu berücksichtigen. Somit kann die jährlich vom Fluß aus zur See abgeführte Geschiebe- und Sinkstoffmenge im Mittel zu 500 000 cbm angesetzt werden.

Aus den Peilprofilen der Jahre 1898, 1923 und 1924 (Abb. 9) ist zu ersehen, daß aus dem Flußbette der letzten 2 km der Narowa und 1½ km des Rossonarmes mehr an Geschieben und Sinkstoffen abwandert, als von oben zugeführt wird. Für das Jahr 1923/24 ergab sich eine Differenz von 311 981 cbm, die somit zur See abgeführt wurde. Außerdem passiert ein Teil der von oben kommenden Sinkstoffe die letzte Flußstrecke schwebend oder gelangt mit dem Eise unmittelbar ins Meer. Somit ergeben sich auch aus letzteren Betrachtungen zum mindesten 500 000 cbm jährlich an Geschiebe- und Sinkstoffen.

Die Bewegung längs der Küste.

Aus der Beschreibung der geologischen Entwicklung der Küste war zu ersehen, daß der Glint von Westen aus bis auf 8 km sich der Mündung der Narowa nähert. Zur Mündung hin ist die Küste dann flach. Vom Glint aus beginnend. ist der Küstensaum anfangs noch schmal und besteht aus Geröll und Grand. Näher zur Mündung verbreitert er sich allmählich und nimmt einen feineren Bestand an, an Stelle des Grandes tritt anfangs grober, später feinerer und schließlich feinster Dünensand. Von der Wasserlinie steigt der Küstensaum flach an (1 : 50 im Mittel), dann steiler (1 : 20 und 1 : 4) zum Lande hin. Seine Breite beträgt 50—100 m; er schließt sich an eine Erhöhung aus früheren Dünenbildungen, die durch Waldbestand festgelegt ist. Erst 500 m vor der Mündung hört der Waldbestand auf, die Sandböschung fällt hier steil ab und wird bei höheren Wasserständen unterspült, was zum Einsturz der am Rande der Böschung befindlichen Gebäude geführt hat. Die Uferböschung soll früher auch hier durch Anpflanzungen befestigt gewesen sein. Während eines außergewöhnlichen Wasserstandes im Herbst 1924 (bis 2 m über NN) ist die Böschung auch weiter südwestlich auf einer Gesamtstrecke von 2 km stark unterspült worden. Der flache Küstensaum ist beständigen Aenderungen unterworfen. Bald werden größere Sandmassen von der See ausgeworfen, es bilden sich Dünen. dann wieder wird die ganze obere lose Sandschicht fortgespült. In der Unterschicht ist der Sand fester und hält den Angriffen der See mehr stand. Die Brandungszone mit stark veränderlichem Profil ist 200—300 m breit und reicht bis zur 2,5 m-Tiefe; weiter seewärts bis zur Tiefe von 5—7 m, folgt ein Streifen mit einem Gefälle 1 : 160 bis 1 : 200; dann wird das Gefälle bis zur 10 m-Tiefe und weiter wieder steiler und beträgt 1 : 100—1 : 130. Stellenweise unterliegt der Meeresboden noch Veränderungen bei einer 8—9 m-Tiefe.

Der Strand links von der Mündung mit Ausnahme der Brandungszone hat eine verhältnismäßig regelmäßige Ausbildung, während vor der Mündung und rechts von derselben die regelmäßige Strandbildung von der Flußrinne unterbrochen wird. Bezeichnend ist das Verschieben der Flußrinne zur rechten Küste hin unter der Einwirkung der Wandersande von links.

Das Geschiebe und die Sinkstoffe werden im beweglichen Küstensaume durch die Wellenbewegung und die Strömungen in Bewegung gesetzt und verfrachtet. Der Wellenangriff tritt besonders hervor in der Brandungszone, an welche bis zur Grenze des beweglichen Küstensaumes sich das Wirkungsgebiet der schwingenden Wellen anschließt. Die Verfrachtung erfolgt unmittelbar durch die Wellen und die durch letztere bedingten Strömung längs der Küste, dann durch die vom Winde erzeugten Strömungen. Bei WNW-Wind von der Stärke 9, bei einer Wellenhöhe von 1,5 m, ist eine Verschiebung der Sandkörner längs der Küste mit einer Geschwindigkeit im Mittel von 0,43 m/sek beobachtet worden. Bei andauernden SW- und W-Winden bildet sich eine Windströmung längs der Küste, während NW- und N-Winde Stauströmungen zur Mündung hin hervorrufen. Aus den Stauströmungen können sich wiederum Seitenströmungen längs der Küste bilden. Die Geschiebe- und Sinkstoffbewegung erfolgt, der herrschenden Windrichtung und den sich bildenden Strömungen entsprechend, vorwiegend von West und Südwest aus nach Nordost hin.

Von der rechten Küste aus kann sich keine nennenswerte Geschiebe- und Sinkstoffbewegung entwickeln, da sich etwa ausbildende südliche und südwestliche Küstenströmungen durch das ausströmende Flußwasser zurückgedrängt werden. Nur bei Staueströmungen können auch längs dieser Küste Seitenströmungen entstehen.

Im Meeresprofil 3 auf einer Entfernung von 500, 1000, 1500 und 2000 m von der Küste entnommene Wasserproben ergaben im Mittel auf 1 cbm 2548 g anorganischer und 42 g organischer Stoffe. Da diese Menge durch Verdampfung bestimmt wurde, sind darin auch die gelösten Stoffe enthalten. Hierbei ist der Salzgehalt in Betracht zu ziehen. Derselbe beträgt im Finnischen Meerbusen von Reval bis Kronstadt in je 100 Gewichtsteilen Meerwasser 0,63—0,07 Gewichtsteile. An der Küste der Narwaschen Bucht, links von der Mündung, kann der Salzgehalt mit 0,15 v H eingeschätzt werden.

7. Die Barre.

Der sinkstoffführende Strom sucht nach Verlassen der festen Ufer sein Bett im Meeresboden auszuwaschen und setzt dabei die mitgeführten Sinkstoffe zum Teil an beiden Seiten der Rinne ab. Durch die übermäßige Einengung an der Mündung hat das ausströmende Wasser anfangs ein Uebermaß an lebendiger Kraft, was einen starken Angriff auf den Meeresboden zur Folge hat. Dabei zehrt sich aber die aufräumende Kraft bald auf. Das Flußwasser wird von dem schweren Meereswasser zuerst in den unteren Schichten aufgehalten, wobei das Geschiebe und alle schwereren Sinkstoffe zur Ablagerung kommen. Die feineren Sinkstoffe werden durch das als Oberschicht abfließende und allmählich auf eine größere Fläche sich verteilende Flußwasser noch weiter seewärts fortgetragen. Das Flußwasser strömt vorwiegend in der Mündungsrichtung und nach rechts hinab. Damit sind die Strömungsverhältnisse und die Sinkstoffbewegung an der Mündung und rechts von derselben gekennzeichnet. Die Küstenströmung von links wird durch das ausströmende Flußwasser, das wie eine Buhne wirkt, abgelenkt. Das Geschiebe kommt längs der Flußrinne zur Ablagerung und schiebt sich weiter seewärts allmählich bis in die Flußrinne vor. Der bewegliche Küstensaum sucht somit die Flußmündung zu umgehen und wieder Anschluß an die Küste zu gewinnen. So entsteht durch die gegenseitige Einwirkung des Flusses und der See die Barre. Bei ansteigendem Meeresspiegel wird der Fluß zurückgedrängt und von der See aufgestaut, wobei die Stauwelle sich bis zur oberen Grenze des Mündungsgebietes erstreckt. Dadurch wird die Sinkstoffbewegung zur See zeitweilig aufgehalten. Das Geschiebe und die schwereren Sinkstoffe kommen schon im Mündungsgebiet zur Ablagerung.

Bei fallendem Meeresspiegel dringt das Flußwasser wieder seewärts vor, doch ist bei normalen Verhältnissen die Strömung zu gering, um größere Sinkstoffmengen vom Mündungsgebiet aus in Bewegung zu setzen. Bei mittlerem und niedrigerem Meereswasserstande kann der Fluß nach Verlassen der festen Ufer noch 750 bis 1000 m weiter seewärts sich durchsetzen, so daß da die eigentliche Mündung des Flusses liegt. Darauf weisen folgende Umstände hin:

1. Bis zu der bezeichneten Stelle hat sich im Meeresboden eine tiefere Rinne ausgebildet.
2. Auf dieser Strecke strömt das Flußwasser in der Regel noch geschlossen, erst weiter seewärts macht sich ein Einfluß des Windes auf die Stromrichtung bemerkbar.
3. Das Wasser bewahrt auf dieser Entfernung in bezug auf Temperatur und Salzgehalt die Eigenschaften des Flußwassers.

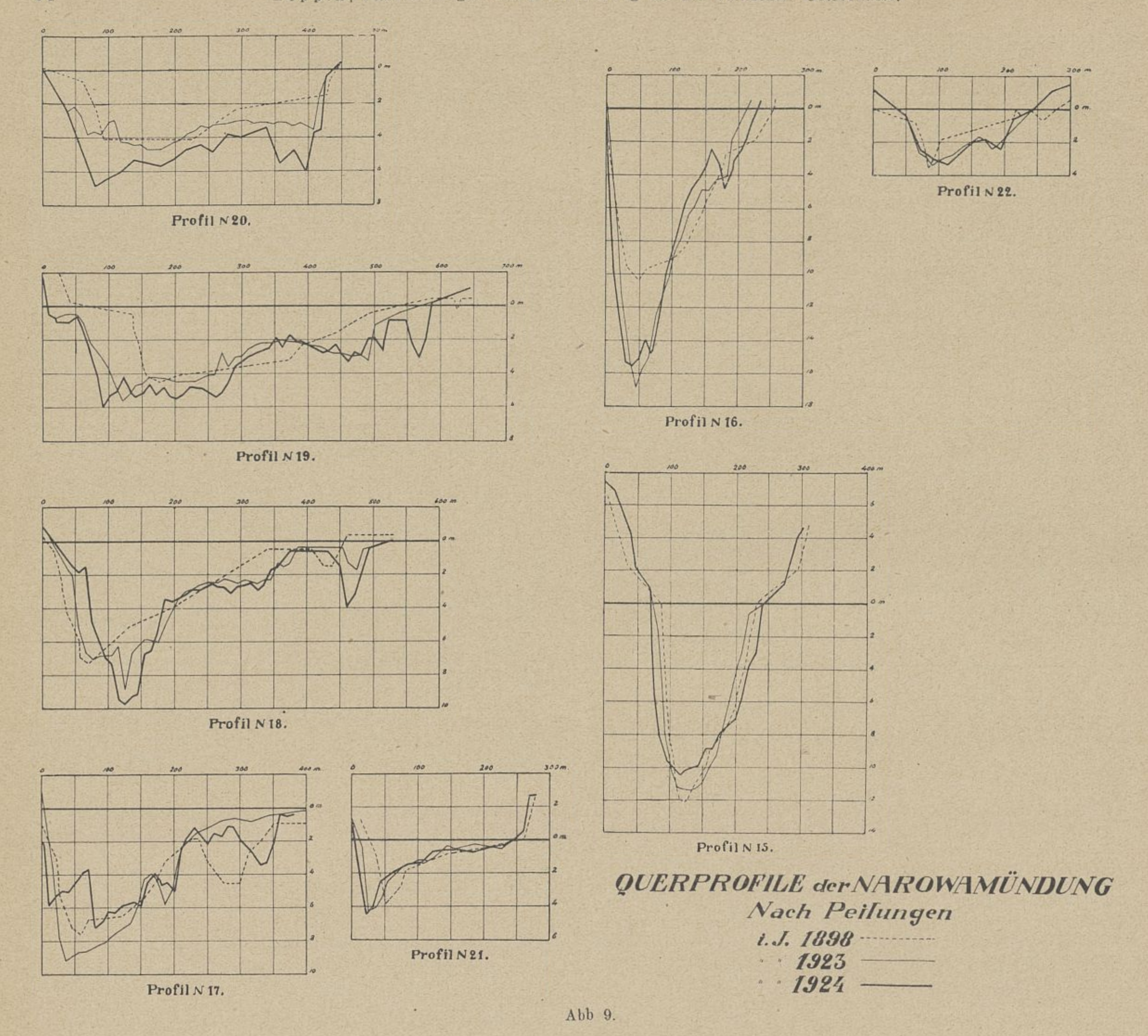


Abb 9.

4. Die Sohle der Rinne besteht bis zu dieser Stelle noch vorwiegend aus Sand; weiter seewärts bildet sich eine Schlammschicht aus.

In der Fahrrinne auf der Barre sind folgende Tiefen vorhanden:
bis 500 m von der topographischen Mündung über 6 m,
von 500—1500 m von der topographischen Mündung unter 6 m, wobei zwischen 800—1300 m Tiefen unter 4 m vorkommen. Die geringste Tiefe findet sich auf einer Entfernung von 1000 m, wo die Barre somit in der Fahrrichtung ihren Höchstpunkt erreicht. Die Barre zieht sich im Bogen um die Mündung. Es ist darauf hingewiesen, daß durch die Barre die Flußrinne an die rechte Küste gedrängt wird, was zum Abbruch dieser Küste führt. Die Barre reicht bis zur 6 m Tiefenlinie, von wo aus seewärts sich dann wieder ein regelmäßiges Gefälle ausbildet.

Ueber den Bestand der Barre geben im Jahre 1898 ausgeführte Bohrungen Aufschluß (Abb. 3 auf Tafel 1). Aus den Profilen ist zu ersehen, daß südwestlich der Fahrrinne bis zu 4,5 m Tiefe vorwiegend gröberer Sand, weiter seewärts nur feinerer Sand und Schlamm sich in Bewegung befunden haben; nordöstlich der Fahrrinne tritt der Einfluß des Flusses im Bestande des Bodens hervor. Hier sind noch bis zur 7 m Tiefe die gröberen, weiter seewärts die feineren Sinkstoffe zur Ablagerung gekommen.

Eine in letzter Zeit vorgenommene mechanische und petrographische Analyse des Bestandes der Barre ist noch nicht zum Abschluß gebracht. Der Bestand des Bodens ist wechselnd, bald feiner gelber Sand, bald grauer mit Schlamm, eine kompaktere Masse bildend. Durch die Analyse wird die Lösung der Frage, von wo aus vorwiegend die Sinkstoffbewegung erfolgt, angestrebt.

Nach den bisherigen Ausführungen findet eine Geschiebe- und Sinkstoffbewegung sowohl vom Flusse als auch von der linken Küste zur Barre hin statt. Fluß- und Meeresströmungen sowie die Wellenbewegung üben aber anderseits auch eine abtragende Wirkung aus. Bei normalen Verhältnissen scheint sich, wenn auch nicht andauernd, ein Gleichgewichtszustand auszubilden. Die natürlichen Tiefen der Fahrrinne im Bereich der Barre liegen zwischen 3 und 4 m, in normalen Jahren — näher zu 4 m, während bei außergewöhnlichen Verhältnissen die Tiefen unter 3 m fallen können.

Die Aenderungen der Mündungsverhältnisse während größerer Zeitabschnitte kennzeichnen folgende Angaben:

Nach einer Seekarte vom Jahre 1845 und Tiefenplänen vom Jahre 1898 berechnete Ingenieur Rummel (29) die Anlandung der Barre mit 315 000 cbm oder unter Berücksichtigung des ausgehobenen Baggergutes 812 000 cbm. Daraus ergibt sich im Mittel eine jährliche Anlandung von 15 500 cbm, was gering ist.

Ein Vergleich der Tiefenpläne von 1898 einerseits und 1923 und 1924 anderseits ergab (25) (26) folgendes:

1898—1923 betrug die Abwanderung auf der an die Mündung anschließenden Strandzone von 2,5 km Länge bis zur 10 m-Tiefe, unter Berücksichtigung der Zufuhr vom Fluß aus, im Mittel jährlich 25 000 cbm. Hierbei ist angenommen, daß die Abwanderung von der Narowa aus (184 669 cbm) innerhalb der bezeichneten Strandzone zur Ablagerung gekommen ist. Diese Annahme ist berechtigt, da die aus der oberen Mündungsstrecke hinzukommenden Sinkstoffe nicht berücksichtigt sind. Anderseits ist aber im Laufe dieser Jahre eine beträchtliche Menge durch Baggerungen entfernt worden. Genauere Angaben liegen nicht vor; doch wurden allein durch den im Besitz der Stadt Narwa befindlichen kleinen Eimerbagger zum mindesten jährlich 18 000 cbm ausgehoben. Außerdem haben des öfteren größere Bagger aus anderen Häfen an der Narowamündung ge-

arbeitet. Die Gesamtmenge des während der Jahre 1898—1923 ausgehobenen Baggergutes dürfte die angegebene Differenz übersteigen.

Somit sind die Aenderungen an der Narowamündung vom Jahre 1845 bis zum Jahre 1923 verhältnismäßig unbedeutend. Zeitweilig werden sich wohl größere Differenzen ergeben haben, doch haben sich diese im Laufe der Zeit wieder ausgeglichen. So überstieg die Abwanderungsmenge des Jahres 1923/24 die Gesamtmenge der vorhergehenden Jahre bedeutend; sie betrug in der untersten Strecke der Mündung und des anschließenden Strandes nach Abzug der ausgebaggerten Menge über 1 000 000 cbm. Diese Geschiebe- und Sinkstoffmenge ist teils längs der Küste in nordöstlicher Richtung, teils seewärts in größere Tiefen verfrachtet worden. Trotzdem waren im Laufe des Jahres wiederholt die Tiefen im Seegatt ungenügend, was bei den großen Mengen an Sinkstoffen und Geschieben, die sich in Bewegung befanden, erklärlich ist. Bei Abwanderung im allgemeinen können sich da, wo die Verhältnisse es begünstigen, zeitweilig Ablagerungen ausbilden. Die anormalen Verhältnisse des Jahres 1923/24 lassen sich durch die infolge Grundeisbildungen und Eisversetzungen erschwerten Abflußbedingungen bei außergewöhnlich großen Zuflußmengen erklären. Außerdem übten an der Küste die häufigen und heftigen Stürme einen großen Einfluß aus. Im Frühjahr 1924 wurde vom Fluß aus eine größere Menge an Geschiebe- und Sinkstoffen der See zugetragen. Das führte zur vollständigen Versandung des Seegattes, wobei die Tiefen bis 2 m fielen.

8. Regelung der Mündung und des Mündungsgebietes.

Mit der Frage der Verbesserung der Schiffahrtsverhältnisse hat man sich schon im 18. Jahrhundert beschäftigt. Nach Rummel (29) rührt das älteste bekannte Projekt vom Jahre 1746 her; darin waren folgende Arbeiten vorgesehen:

1. Befestigung der dem Abbruch unterworfenen Ufer des Rossonarmes und der Narowa;
2. Befestigung der Mündung durch Leitdämme, die seewärts in NNW-Richtung in einer Länge — links 1170 m, rechts 850 m fortgesetzt werden sollten;
3. Schutz des Seekanales von der Seeseite durch einen Wellenbrecher, so daß die Einfahrt zum Hafen nur von West oder Ost aus hätte erfolgen können.

Zur Ausführung gelangte nur eine teilweise Befestigung der Ufer.

Im Jahre 1756 war dann ein vom ersten abweichendes zweites Projekt zusammengestellt worden, das aus folgendem bestand:

1. Unmittelbare Verbindung des Rossonarmes mit der See durch einen Kanal;
2. Verlängerung des Kanales seewärts und Bau von Schutzdämmen;
3. Anordnung eines bogenförmigen Wellenbrechers vor die Mündung des Kanales;
4. Abschluß des Rossonarmes von der Narowa durch eine Holzschleuse.

Die Kosten dieser Arbeiten waren mit 260 000 Rubel berechnet und sollten durch Hafenabgaben gedeckt werden. Letztere ergaben aber nicht die zum Bau notwendige Summe. Erst einige Jahre später mit der Ernennung Münnichs zum Direktor der Häfen Baltischport, Reval und Narwa, des Kronstädter Seekanals und des Ladogakanals sowie der Häfen des Wolchowflusses wurde mit den Arbeiten nach einem neuen Projekte tatsächlich begonnen. Es waren folgende Arbeiten vorgesehen:

1. Eine Befestigung der dem Abbruch unterworfenen Ufer durch Faschinen und Pfähle;
2. der Bau eines Bollwerkes am linken Mündungsufer;
3. die Aushebung eines Kanals von 1500 m Länge und 150 m Breite von der Mündung seewärts in der Richtung N z W;
4. der Schutz des Kanals durch Leitdämme aus Steinkisten (17 m breit), wobei der Westdamm den östlichen um 639 m überragen sollte, nach Nord umbiegend und eine Einfahrt zwischen Nord und Ost freilassend.

Bis zum Jahre 1767 war die Uferbefestigung in einer Länge von 7 km und das Bollwerk in einer Länge von 410 m ausgeführt, wobei die Breite der Mündung bis auf 180 m vermindert war. Münnich war der Meinung, daß durch den Bau eines Bollwerkes im offenen Meere, durch Vertiefung der Mündung und Befestigung der Ufer die Ursachen der Barrenbildung beseitigt würden und der Bau von Leitdämmen sich erübrigen könnte. Mit dem Tode Münnichs wurden die Arbeiten längere Zeit unterbrochen. Wiederaufgenommen wurden sie im Jahre 1808. Es sollte das Bollwerk am linken Ufer um 320 m verlängert werden, das rechte Flußufer befestigt und daselbst ein dem Bollwerk gleichlaufender Leitdamm ausgeführt werden. Dabei sollte die Mündung bis 120 m eingeengt werden, um durch weitere Zusammenfassung der Strömung seine aufräumende Kraft zu erhöhen. Außerdem war der Schutz des Seekanals durch Leitdämme vorgesehen; letztere sollten, um dem Eise einen freien Abzug zu gewähren, nicht unmittelbar an die Bollwerke anschließen. Von den vorgesehenen Arbeiten gelangte nur ein Teil zur Ausführung, so die Befestigung des rechten Ufers durch Pfähle und Faschinen und der Bau eines Bollwerkes von 128 m Länge daselbst. Seit dem Jahre 1808 sind keine weiteren Bauten an der Narowamündung ausgeführt worden.

Seit dem Ende des 19. Jahrhunderts wird die Zufahrt zum Hafen durch regelmäßige Baggerarbeiten aufrechterhalten. Die Stadt Narwa ist seit dem Jahre 1889 im Besitz eines kleineren Eimerbaggers mit einer Leistungsfähigkeit von 60 cbm in der Stunde; die Baggertiefe beträgt nur 4,2 m. Bei normalen Abfluß- und Windverhältnissen war es mit diesem Bagger möglich, eine 4 m-Tiefe an der Mündung zu unterhalten. Da aber diese Tiefe im 19. Jahrhundert den Anforderungen der Schiffahrt nicht mehr entsprach, wurden von der damaligen russischen Regierung des öfteren größere Baggergeräte zur Arbeit an die Narowamündung abgeordnet. Es gelang dann während der Schiffahrtszeit eine Tiefe von 4,8 bis 5,4 m zu unterhalten. Bis zum Beginn der nächsten Schiffahrtszeit verminderten sich aber die Tiefen in der Regel wiederum bis 3,5 m, wobei bei günstigeren Abflußverhältnissen und Witterung in der Mitte des Seekanals die Tiefen nicht unter 4,8 m sanken. Die Ansammlungen im Seekanal betrugen 50 000 bis 100 000 cbm, doch war die notwendige Aushubmasse gewöhnlich geringer. Während der Kriegsjahre wurde kein regelmäßiger Baggerbetrieb unterhalten. Da außerdem der Abbruch der Flußufer und der Küste stellenweise gößeren Umfang anzunehmen begann, verschlechterten sich die Tiefenverhältnisse an der Mündung. In größerem Umfange wurden die Baggerarbeiten wieder im Jahre 1922 aufgenommen. Im Jahre 1923 arbeiteten fast während der ganzen Schiffahrtszeit ein See-Hopper-Pumpen-Bagger (300 cbm/Stunde) und zwei Eimerbagger (150 und 60 cbm/Stunde). Durch stürmische Witterung wurde die Arbeit behindert. Bei einer Windstärke 3—4, je nach der Richtung, waren die Bagger gezwungen, ihre Arbeit einzustellen, so daß bis 25 v H der Arbeitszeit verloren ging. Während eines Sturmes strandete ein Eimerbagger, der aber bald wieder flott gemacht wurde. Es wurde eine Rinne von 85—117 m Breite bis zu einer Tiefe von 5—6 m ausgebaggert, wobei die Aushubmasse 158 585 cbm betrug. Nach den Herbststürmen desselben Jahres verringerte sich in der Fahrrinne die Tiefe stellenweise bis auf 4,2 m, und im Mai des folgenden Jahres waren die Tiefen auf einer Strecke von 600 m bis auf 2,0 m gesunken. Durch die geringe Tiefe des Kanals wurden die Baggerarbeiten des Jahres 1924 sehr erschwert. Da dadurch die Hafeneinfahrt gesperrt war, konnte von der See aus an der Vertiefung der Fahrrinne nur der seetüchtige Hopper-Pumpen-Bagger arbeiten. Seine Bewegungsfreiheit war aber äußerst behindert. Außerdem waren im Seekanal außer Sand stellenweise Torf und Heu zur Ablagerung gekommen, eine kompaktere Masse bildend. Infolgedessen konnte der Bagger nur Löcher ausheben, wobei sich keine durchgehende Fahrrinne ausbildete. Bei diesen erschwerenden Umständen gelang es, die Fahrrinne nur bis 2,7 m zu vertiefen. Der Hafen war infolgedessen während der ganzen Schiffahrtszeit nur Küstenfahrtschiffen zugänglich, während die Seeschiffe auf der Reede laden und löschen mußten.

Es scheint, daß in den letzten Jahren die Verhältnisse an der Mündung sich so weit verschlechtert haben, daß es wohl kaum mehr gelingen dürfte, allein durch Baggerung eine Tiefe von 5,5 m aufrechtzuerhalten. Eine Verbesserung könnte noch durch möglichste Anpassung der Baggerrinne an die Stromrichtung erreicht werden. Von der Mündung aus hat der durch Richtzeichen festgelegte Seekanal auf einer Strecke von 770 m eine N 25° W-Richtung, was mit der Stromrichtung noch zusammenfällt. Weiter seewärts biegt dann der Kanal nach N 60° W ab. Damit ist es zwar möglich, auf kürzerem Wege die größeren Tiefen zu erreichen, auch kommt dadurch die Fahrrinne weiter ab von der nordöstlichen Küste zu liegen. Bei einer der Stromrichtung mehr entsprechenden Lage dürften sich aber die Tiefen besser erhalten, wobei weniger auf eine aufräumende Wirkung der Strömung, als auf das Vermögen derselben, die Sinkstoffe noch weiter seewärts in schwebendem Zustande zu erhalten, zu rechnen wäre. Bei der bisherigen Anordnung erreichen die Ablagerungen ihr Höchstmaß an der Stelle, wo der Kanal nach Westen abbiegt.

9. Bekämpfung der Barrenbildungen.

Eine erfolgreiche Bekämpfung der Barrenbildung ist nur bei genauer Kenntnis der Ursachen ihrer Entstehung möglich. Ausgehend von der Barre als Ergebnis der Zusammenwirkung verschiedener Faktoren sei im folgenden der Gang ihrer Entstehung kurz zusammengefaßt:

1. Die Barre an der Narowamündung besteht aus Sand, zur Küste hin aus reinem, seewärts aus Sand mit Schlamm, sie bildet sich durch Ablagerungen des Geschiebes und der Sinkstoffe.
2. Die Ablagerung erfolgt, sobald die lebendige Kraft der Strömung das Geschiebe nicht mehr fortbewegen, die Sinkstoffe nicht mehr schwebend erhalten kann. Ein Ueberschuß

der Kraft kann eine aufräumende Wirkung ausüben, doch folgt dann seewärts meist wieder verstärkte Ablagerung.

3. Verfrachtet werden das Geschiebe und die Sinkstoffe vom Fluß aus durch Gefälleströmungen, von der See aus durch Stau- (Druck-) und Dichteströmungen.
4. Erstere Strömungen werden im Mündungsgebiet hauptsächlich durch Wasserspiegelschwankungen der See bedingt, somit mittelbar durch die Winde und den Luftdruck. Die Stau- (Druck-) Strömungen entstehen durch die unmittelbare Wirkung letzterer Faktoren.
5. Das Geschiebe und die Sinkstoffe werden in Bewegung gesetzt, einerseits durch die aufräumende Kraft des Flusses, anderseits durch diejenige der Wellenbewegung und der Meeresströmungen.
6. Die aufräumende Kraft erreicht ihr Höchstmaß:
   a) in dem Mündungsgebiet des Flusses — bei Eisversetzungen durch Stauung der Eisschollen und des Grundeises und beim Abfluß des Hochwassers;
   b) an der Küste während der Stürme und nach denselben.
7. Die Menge des in Bewegung befindlichen Geschiebes und der Sinkstoffe ist nicht nur durch die Größe der aufräumenden Kraft, sondern auch durch die Widerstandsfähigkeit der Flußufer und des Flußbettes sowie der Küste und des Strandes bedingt.

Bei der Bekämpfung der Barrenbildung sind vor allem die Punkte 7 und 2 im Auge zu behalten. Außerdem sind von nachhaltigerem Einfluß die Eisverhältnisse der Narowa, wobei eine Verminderung der Grundeisbildung zu erstreben ist. Als weitere Maßregel kommt noch eine Ablenkung der Sinkstoffe führenden Strömung von der Barre in Betracht.

Auf Grundlage dieser Ausführungen wären zur Verminderung der Barrenbildungen an der Narowamündung folgende Maßregeln zu ergreifen:

1. Die Befestigung der dem Abbruch unterworfenen Ufer:
   a) des rechten Ufers der Narowa bei Törvala, km 5—3 oberhalb der Mündung;
   b) des linken Ufers der Narowa gegenüber der Rossonmündung innerhalb der Hafenanlagen;
   c) der Ufer des Rossonarmes — rechts bei km 6 und 2, links bei km 7 und 5;
   d) der Küste links von der Mündung auf einer Strecke von 1 km;
2. die Erweiterung der Flußmündung bis zu einer Normalbreite von 250 m zur Schaffung gleichmäßiger Abflußbedingungen;
3. die Aushebung eines Seekanals von 100 m Breite und 6,5 m Tiefe in der Richtung N 20° W;
4. der Bau eines linken Leitdammes; von der Küste ausgehend, 250 m südwestlich der Mündung im Bogen beginnend, müßte der Damm allmählich in die Richtung N 20° W übergehen, in dieser Richtung 1200 m verlaufen, um dann wiederum im Bogen in die nördliche Richtung überzugehen, bei der 8-m-Tiefe abschließend; bei dieser Lage wäre die Gesamtlänge 2300 m, wobei die erste Hälfte in geringeren Tiefen zu liegen käme.

Außer den angeführten Maßregeln liegen noch andere Möglichkeiten der Verbesserung der Flußmündungsverhältnisse vor. So wäre, da eine Befestigung der Ufer und des Flußbettes des Rossonarmes infolge ihrer Unbeständigkeit und des ungenügenden Widerstandsvermögens schwer durchführbar ist, die Ablenkung der Sinkstoffe dieses Armes von der Narowabarre durch Wiederherstellung seiner früheren unmittelbaren Mündung in Betracht zu ziehen. Dazu müßte der Waikne-See durch einen Kanal mit dem Meere verbunden werden, dessen Länge, je nach der Lage der Verbindungsstelle, ½ bis 1 km betragen würde. Unterhalb dieses Sees wäre ein Sperrdamm mit einem Stautor zum Durchlaß der von der Luga kommenden Flöße erforderlich. Falls diese Lösungen der größeren Kosten wegen nicht durchführbar sein sollten, muß noch auf die Strömungsstörungen an der Rossonmündung hingewiesen werden. Dieser Arm mündet fast rechtwinklig in die Narowa, die Narowaströmung an das linke Ufer drängend, wobei letztere unregelmäßig wird und Wirbelbewegungen entstehen. Infolgedessen ist das der Rossonmündung gegenüberliegende Narowaufer stellenweise ausgewaschen und die Landungsanlagen zerstört worden. Doch bringt eine Regelung der Rossonmündung, indem man diesen Arm unter einem spitzeren Winkel mit der Narowa zusammenführt, den Nachteil mit sich, daß sich die Sinkstoffzufuhr zur Barre hin vergrößert, während bei der jetzigen Lage die Sinkstoffe zum größten Teil im Delta zur Ablagerung kommen. Deshalb könnte eine Regelung der Rossonmündung nur bei einer durchgreifenden Befestigung des Deltas nützlich sein.

Zur Erläuterung der vorgeschlagenen Maßregeln wäre noch hinzuzufügen:

Zu P. 2. Der Fluß hat wohl schon selbst das Bestreben, sein Abflußprofil an der Mündung zu vergrößern, doch geschieht das mehr in die Tiefe als in die Breite. So sind am linken Hohlufer Kolke bis zur 16 m-Tiefe ausgewaschen. Die Erweiterung der Mündung wird durch die Reste früherer Uferbefestigungen erschwert. Man müßte deshalb dem Bestreben des Flusses entgegenkommen, indem man die neuen Ufer festlegt und die Hindernisse zur Erweiterung forträumt.

Zu P. 4. Der einseitige Leitdamm hat zur Aufgabe:
a) die Fahrrinne vor den in nordöstlicher Richtung sich bewegenden Wandersanden zu schützen, dieselben in größere Tiefen allmählich ablenkend; unvermeidliche Ablagerungen nördlich der Einfahrt sind periodisch durch Baggerungen zu entfernen;
b) die luvseitige Küste vor Abbruch zu schützen, was durch Ansammlungen vor der Mole erzielt wird;
c) den Vorhafen und die Mündung vor den häufigsten und stärksten Winden, aus der Richtung zwischen SW und NNW, zu schützen,
d) der Flußströmung eine bestimmte Richtung zu geben, seine lebendige Kraft zusammenhaltend und damit seine Fähigkeit, Sinkstoffe schwebend fortzuführen, vergrößernd.

Ein rechtsseitiger Leitdamm erübrigt sich, da von dieser Seite keine Sinkstoffbewegung längs der Küste zur Mündung hin stattfindet. Zwar würde durch einen zweiten Leitdamm die lebendige Kraft der Flußströmung noch mehr erhalten werden, doch anderseits den Sinkstoffen die Möglichkeit genommen werden, sich auf eine größere Fläche zu verteilen. Bei einer einseitigen Anlage könnten die Sinkstoffe des Flusses, wie bisher längs der Küste, in nordöstlicher Richtung abgeführt werden; auch bliebe dann dem Eise ein ungehinderter Abgang zur See gesichert.

Bei einer einseitigen Anlage müßte aber noch die Wirkung der Stauströmungen in Betracht gezogen werden. Beim Anschwellen des Meeresspiegels strömt das Wasser hauptsächlich zwischen West und Nord zur Mündung, wo es dann das ausströmende Flußwasser aufstaut. Durch den Leitdamm wird der Ausgleich der Wasserstände der See und des Flusses behindert. Ein Teil des von der See zuströmenden Wassers würde sich anfangs zwischen dem Leitdamme und der linken Küste aufstauen, dann längs der Außenseite des Leitdammes abfließen und, den Kopf des Leitdammes umgehend, zur Mündung hin strömen. Zur gleichen Zeit würde von der rechten Seite ein verstärkter Zustrom erfolgen. Da, wo sich infolge zu geringer Tiefe keine Unterströmung ausbilden kann, könnten durch die Strömung auch Sinkstoffe zur Mündung hin in Bewegung gesetzt werden, die Fahrrinne verflachend. Doch wäre unter dem Schutze des Leitdammes eine Ausbaggerung der Fahrrinne zu jeder Zeit leicht möglich. Falls aber tatsächlich sich daraus größere Schwierigkeiten für die Schiffahrt ergeben sollten, könnte die Fahrrinne nachträglich durch einen kürzeren Leitdamm geschützt werden. Im allgemeinen scheint aber eine einseitige Anlage mehr den natürlichen Verhältnissen an der Narowamündung zu entsprechen.

Die Arbeiten an der Narowamündung wären in folgender Reihenfolge durchzuführen:

1. Befestigung der Ufer der Narowa und des Rossonarmes, falls eine Ableitung des letzteren nicht vorgesehen ist; Festlegung der Mündung der normalen Flußbreite entsprechend; Befestigung der linken Küste an der Mündung durch den Bau eines kurzen Leitdammes von 500 m.

2. Falls durch die unter 1 angegebenen Arbeiten noch kein befriedigendes Ergebnis erzielt wird, Ausbau des linksseitigen Leitdammes in voller Länge und eventuelle Ableitung des Rossonarmes.

3. Als letztes Hilfsmittel verbliebe der Bau eines kürzeren, rechten Leitdammes.

Bei allem ist aber das Hauptgewicht auf die Baggerung zu legen, wobei die Bauten nur den Zweck haben, die Tiefen in der Baggerrinne möglichst lange zu erhalten und bessere Bedingungen für die Baggerarbeiten zu schaffen.

Außer den angeführten Maßregeln an der Mündung würde eine Regelung oder Kanalisierung des Flußlaufes zur Verminderung der Barrenbildung beitragen. Auch im Mündungsgebiet selbst ist eine Regelung durch stellenweise Erweiterung und Vertiefung des Flußbettes nützlich. Durch diese Maßregeln würden die Abflußgeschwindigkeiten ausgeglichen und die Bildung einer Obereisschicht gefördert werden, damit die Grundeisbildungen und Eisversetzungen vermindernd.

5. Schlußfolgerungen.

Im folgenden sind die Beobachtungen und Untersuchungen an den vier Flußmündungen vergleichend zusammengestellt, und zwar zunächst unter Zerlegung in zwei Gruppen, Mündungen mit einer allerdings bereits abgeschlossenen Deltabildung und einfache Mündungen ohne Deltabildung.

1. Die Düna und die Narowa können noch zu den Flußmündungen mit abgeschlossener Deltabildung gezählt werden, haben aber anderseits schon in mancher Hinsicht die Eigenart der einfachen Flußmündungen angenommen.

Im nachstehenden ist ein Vergleich der Verhältnisse beider Mündungen mit ihren Barrenbildungen durchgeführt:

Lage und Gestaltung der Mündungsstrecke und der anschließenden Küste.

Beide Flüsse befinden sich bis zum Mündungsgebiet noch im Entwicklungsstadium und haben die Eigenart eines Oberlaufes mit Erosion und Stromschnellen. Ihr Mündungsgebiet liegt im Bereich des Alluviums, durch welches die Flüsse dann träge ihren Lauf bis zur Mündung fortsetzen. Beide Flüsse besitzen nur noch einen Mündungsarm, nehmen aber kurz vor der Mündung den Arm eines anderen selbständigen Flußlaufes auf (Kurländische Aa, Luga). Beide Flüsse münden in Meerbusen, doch ist die Lage ihrer Mündungen verhältnismäßig offen, und zwar der Düna den Winden von SW über N bis NO, der Narowa den Winden von SW über W bis N. An beide Mündungen schließt sich eine sandige Flachküste an, doch ist die Dünenbildung an der an die Düna anschließenden Küste entwickelter.

Wasserbewegung auf der Mündungsstrecke.

Abflußelemente	Düna	Narowa
Wasserstandsschwankungen:		
oberhalb des Mündungsgebietes	4,42 m	2,70 m
an der Mündung	2,92	2,81 (3,07)
Normales Gefälle der Mündungsstrecke	0,00001	0,000016
Zuflußgebiet:		
oberhalb des Mündungsgebietes	80 000 qm	55 887 qm
an der Mündung	85 400 „	56 056 „
Wassermenge:		
oberhalb des Mündungsgebietes		
Q_{mittel}	683 cbm/sek	405 cbm/sek
Q_{max}	6000 „ „	1465 „ „
Q_{min}	128 „ „	113 „ „
an der Mündung	7 v H. größer als oberhalb	bis 15 v H größer als oberhalb

Eisverhältnisse.

In beiden Flüssen treten bis zum Mündungsgebiet Grundeisbildungen auf, und es findet eine Bewegung derselben statt, die sich bis in die Mündungsgebiete erstreckt. Bei den größeren Abflußprofilen und den lebhafteren Strömungen machen sich Eisversetzungen infolge Grundeisansammlungen im Mündungsgebiet der Düna weniger bemerkbar als in dem der Narowa.

Anderseits übt der Eisgang der Düna eine größere Einwirkung auf die Mündungsverhältnisse aus als derjenige der Narowa. Auf der Düna steht der Eisaufbruch meist mit einem plötzlichen Ansteigen des Wasserstandes in Verbindung, wobei sich sofort das Eis in großen Schollen in Bewegung setzt. Der Eisgang setzt sich bis an die Mündung mit fast unverminderter Kraft fort. Bei auflandigen Winden können dann noch unmittelbar vor der Mündung große Eisversetzungen entstehen, die dann für den Zustand der Barre im Laufe der folgenden Schiffahrtsperiode ausschlaggebend sind.

Auf den Eisgang der Narowa wirkt ausgleichend der Peipussee. Durch den Zufluß wärmeren Wassers aus demselben findet ein allmähliches Abschmelzen der Obereisschicht statt. Das Eis setzt sich in der Regel schon bei niedrigerem Wasserstande in Bewegung. In das Mündungsgebiet gelangen nur kleinere Schollen, so daß es trotz der Einengung an der Mündung zu keinen Eisversetzungen kommt.

Wasserbewegung der See an den Mündungen.

Die Höhe der Wellen übersteigt an beiden Mündungen nicht 2,5 m. Die Wasserspiegelschwankungen der See erreichen 3,0 m, somit sind die Stauwirkungen bedeutend. Die Küstenströmungen haben eine wechselnde Richtung und keine großen Geschwindigkeiten (bis 0,5 m/sek an der Oberfläche).

Geschiebe- und Sinkstoffbewegung und Barrenbildung.

Die Zufuhr vom Fluß aus zur Mündung findet auf der Düna und Narowa hauptsächlich während des Eisganges und des Hochwasserabflusses statt, doch ist dieselbe während dieser Zeit maßgebend für den Umfang der Barre im Laufe des folgenden Jahres. Die Düna ist wasser- und sinkstoffreicher als die Narowa, doch wohnt anderseits ihrer Strömung bei ablandigen Winden eine größere aufräumende Kraft inne. Die Menge der zur Ablagerung kommenden Stoffe ist von der Größe der jeweiligen Stauwirkung der See bedingt.

Die Entstehungsherde der Sandbewegung längs der an die Mündungen dieser Flüsse anschließenden Küste ist verschiedener Art.

Die große Transitsandbewegung längs der Ostküste der Ostsee setzt sich an der Küste des Rigaschen Meerbusens fort, allerdings nur im geschwächten Maße, da eine Verteilung der Sandmassen an der Westspitze des Meerbusens stattfindet, wo die Strömung sich teilt. Neue Zufuhr an Sand liefern die im östlichen Teil des Rigaschen Meerbusens mündenden größeren Flüsse (Kurländische Aa, Düna, Livländische Aa). Die von diesen Flüssen in die See getragenen Sinkstoffe werden zum Teil von der See wieder an den Strand angespült und vermehren die Dünenbildungen. Die vereinzelt vorkommenden Kliffküsten und Findlingsgruppen liefern verhältnismäßig weniger Material für die Geschiebe- und Sinkstoffbewegung.

In der Narwaschen Bucht ist die Sandbewegung nur örtlichen Ursprungs und wird genährt von der Glintküste und hier in großen Mengen auftretenden Findlingen.

Die Verfrachtung des Geschiebes und der Sinkstoffe erfolgt durch die Vertriftung und die Strömungen längs der Küste, die durch die Stauwirkungen der See verstärkt werden. Ihr Höchstmaß erreicht die Bewegung nach den Stürmen.

Ein Vordringen der Mündungen beider Flüsse seewärts findet nur sehr allmählich statt. Die Barren haben eine verhältnismäßig stabile Lage. Bei günstigen Abflußverhältnissen und günstiger Witterung stellt sich ein Gleichgewichtszustand ein, der mitunter Jahre mit nur kürzeren Unterbrechungen andauern kann.

2. Die Windau und die Pernau gehören zu den einfachen Flußmündungen, unterscheiden sich aber recht bedeutend in ihrer Eigenart.

Lage und Gestaltung der Mündungsstrecke und der anschließenden Küste.

Oberhalb des Mündungsgebietes befinden sich beide Flüsse noch im Entwicklungsstadium, wobei der Uebergang zum Mündungsgebiet sich auf der Windau allmählicher vollzieht als auf der Pernau. Im Mündungsgebiet herrschen Alluvial-Bildungen vor. Das Flußbett nimmt an Tiefe und Breite zu, so daß bei den geringen Abflußmengen die Strömung fast zum Stillstand kommt. Die Windau mündet an der offenen Küste der Ostsee, die Pernau in einer geschützten Bucht. An die Mündung der Windau schließt eine Flachküste mit umfangreichen Dünenbildungen an; die Küste bei der Pernaumündung ist eine Strandniederung ohne Dünen, aber mit Riffbildungen längs dem Strande.

Wasserbewegung auf der Mündungsstrecke.

Abflußelemente	Windau	Pernau
Wasserstandsschwankungen an der Mündung	bis 1,5 m	2,03 m
Zuflußgebiet an der Mündung	11 500 qkm	7162 qkm
Wassermenge an der Mündung:		
Q_{mittel}	55 cbm/sek	40 cbm/sek
Q_{max}	1000 „ „	730 „ „
Q_{min}	15 „ „	5,7 „ „

Das normale Gefälle der Mündungsstrecke beider Flüsse ist äußerst gering.

Eisverhältnisse.

Der Eisgang auf der Pernau ist stärker als auf der Windau. Eisversetzungen kommen aber an der Mündung der Pernau nur selten vor und üben keine nachhaltige Wirkung auf die Mündungsverhältnisse aus. Die Grundeisbewegung beider Flüsse reicht nicht bis in das Mündungsgebiet.

Wasserbewegung der See an den Mündungen.

An der an die Windaumündung anschließenden Küste findet eine verhältnismäßig lebhafte Strömung aus einer vorherrschenden Richtung statt. Die Stauwirkung ist infolge der offenen Lage der Küste gering; die Wasserstandsschwankungen übersteigen nicht 1,5 m.

An der Pernaumündung ist die Küstenströmung nur äußerst gering bei wechselnder Richtung, dagegen die Stauwirkung der See größer; die Wasserstandsschwankungen können bis 3 m betragen, doch sind die entsprechenden Höchst- und Niedrigstwerte nicht registiert.

Geschiebe- und Sinkstoffbewegung und Barrenbildung.

Die Zufuhr an Geschiebe- und Sinkstoffen vom Fluß aus ist auf der Windau und Pernau bei den kleinen Abflußmengen gering. Infolge der großen Abflußquerschnitte der Mündungsstrecken kommt selbst im Frühjahr ein großer Teil der mitgeführten Stoffe schon zwischen den Ufern und im Vorhafen zur Ablagerung.

An der Windauschen Küste findet eine lebhafte Transitsandwanderung statt, die durch die Mündung aufgehalten wird, was zu Ablagerungen führt. An der Pernauschen Küste ist die Sandbewegung unbedeutend und wächst nur nach den Stürmen; die Anlandungserscheinungen nehmen aber auch dann keinen größeren Umfang an.

An der Windaumündung kann sich kein bleibender Gleichgewichtszustand ausbilden. Die Anlandungen schreiten von Jahr zu Jahr fort, und die Barre schiebt sich seewärts vor. Die Verhältnisse haben sich besonders in den letzten Jahrzehnten seit dem Ausbau der Mündung verschlechtert, da durch die Hafenanlagen die Sandbewegung mehr behindert worden ist, als das früher der Fall war.

An der Mündung der Pernau besteht ein Gleichgewichtszustand. Da die Sinkstoffzufuhr zur Barre nur gering ist, macht sich die geringe Wirkung der aufräumenden Kräfte nicht bemerkbar. Die Hafenanlagen an der Mündung haben zwar ein Vordringen der Barre seewärts bedingt, doch scheint diese Bewegung zum Stillstand gekommen zu sein. Die Pernausche Küste neigt nicht zur Anlandung.

Anschließend an die Behandlung der einzelnen Mündungsgruppen folgt eine Uebersicht über die Anlagen an den Mündungen der Windau, Düna, Pernau und Narowa.

Die Mündungen der Düna und der Pernau sind von zwei vom Ufer aus gleichlaufenden Leitdämmen eingefaßt, die an der Pernaumündung in annähernd gleichem Abstande bis zu ihren Seeenden an der Dünamündung, jedoch in ihrem letzten Teil konvergierend angelegt sind. An beiden Mündungen entspricht der Abstand der Dämme der Normalbreite der Mündungsstrecke. Infolge Vorrückens des Strandes reichen die Dämme zurzeit nur noch bis zur 3 m-Tiefe, nur am Ende des Ostdammes der Düna ist eine 5 m-Tiefe vorhanden. Trotzdem sind die Verhältnisse an den Mündungen dieser Flüsse befriedigend, da das weitere Vorrücken des Strandes sich verzögert hat, ein annähernder Gleichgewichtszustand in normalen Jahren anhält und die erforderlichen Tiefen durch Baggerungen sich erhalten lassen. Somit haben die Anlagen an der Düna- und Pernaumündung den Verhältnissen entsprechend sich genügend bewährt. Zu erwähnen wären auch die günstigen Ergebnisse der Regelung der Mündungsstrecke der Düna, wobei allerdings auf dieser Strecke so wie an der Mündung die Baggerung das Hauptmittel zur Erhaltung der Tiefen darstellt.

Um eine weitere allgemeine Verschlechterung der Mündungsverhältnisse hinzuhalten, erscheint es ratsam, sich auch fernerhin an den Mündungen beider Flüsse mit Baggerungen zu behelfen. Eine Verlängerung der Dämme würde wiederum ein verstärktes Vorrücken des Strandes hervorrufen, außerdem auf die Abflußverhältnisse an der Mündung sowie auf den Eisgang ungünstig einwirken. Bei wachsenden Tiefenanforderungen scheint zwar ein weiterer Ausbau der Mündungen unumgänglich, doch müßte derselbe auf ein Mindestmaß beschränkt werden.

Die Hafenanlage an der Windaumündung hat sich nicht bewährt. Bei der lebhaften Transit-Sandbewegung an der Windauschen Küste würde auch eine andere Anordnung kaum zu viel besseren Ergebnissen geführt haben. Allerdings hat das weite Vorschieben der Dämme seewärts nur während der ersten zehn Jahre nach Beendigung des Ausbaues eine Besserung gebracht, in Zukunft können jedoch die Verhältnisse noch ungünstiger werden, als sie vor dem Ausbau der Mündung waren. Eine geringe Besserung der Tiefenverhältnisse an der Einfahrt läßt sich durch sachgemäßere Anordnung der Molenenden erzielen, doch bei den außerordentlichen Anlandungserscheinungen luvseitig wäre sie unwesentlich. Größeren Erfolg verspricht der Bau zweier weit in die See vorspringender Buhnen an der luvseitigen Küste zur Ablenkung der Sandbewegung von der Flußmündung, an der sich dann die Anlandungserscheinungen verringern müßten. Sollte schließlich eine Verlängerung der Dämme unumgänglich werden, wären weiter seewärts gleichlaufende, bei genügendem Abstand, anzulegen.

An der Narowamündung sind bisher keine Leitdämme ausgeführt, sondern die Tiefen ausschließlich durch Baggerungen unterhalten worden. Das wäre auch fernerhin durchführbar bei Befestigung der dem Abbruch unterworfenen Flußufer und der Küste und teilweiser Regelung der Mündungsstrecke. Allerdings müßte man sich dabei mit einer Tiefe von 5—6 m begnügen, auch lassen sich diese Tiefen nicht während der ganzen Schiffahrtszeit aufrechterhalten. Deshalb erscheint ein einseitiger Leitdamm zum Schutze der Mündung und Baggerrinne sowie zur Leitung sowohl des Flusses als auch der Küstenströmung erforderlich.

Zum Schluß muß aber nochmals darauf hingewiesen werden, daß vor Ausführung weiterer Arbeiten zur Verbesserung der Flußmündungen durch Untersuchungen und Beobachtungen alle erforderlichen Unterlagen zu beschaffen sind. Auf Grundlage letzterer lassen sich dann die den örtlichen Verhältnissen am meisten entsprechenden Maßnahmen treffen. Außerdem kann nur durch ein Studium umfassender Unterlagen die wissenschaftliche Lösung der Barrenbildungsfrage allmählich verwirklicht werden.

Benutzte Literatur.

(4) 11. Internationaler Schiffahrtskongreß, St. Petersburg 1908.
Bau der Häfen an sandigen Küsten.
Berichte: Jvanina und Aeckerle, Wortman, Sandford, Orlando.

(6) K. R. Kupffer, Baltische Landeskunde, 1911.

(16) Heiser, Ueber die zweckmäßigste Anordnung der äußeren Hafendämme von Seehäfen an sandiger Küste mit Rücksicht auf den Einfluß, den die auf die Umgestaltung der Ufer einwirkenden Naturkräfte ausüben, unter besonderer Betrachtung der Verhältnisse an der deutschen Ostseeküste (Zeitschrfit für Bauwesen 1920).

(20) von Horn, Ueber Richtung und Form der Seeenden von Hafendämmen an flachen und sandigen Seeküsten (Deutsche Bauzeitung 1892).

(21) Lotsia Baltieskago morja.

(22) M. A. Schistovsky, Windawsky port (Materjaly dlja opissanija russkich portow, wypusk XXVIII).

(23) A. Pabst:
a) Der Hafen von Riga.
b) Die Düna und der Hafen (Riga und seine Bauten).

(24) A. B. von Naghel, Rishsky port, pojasnitelnaja sapisska K projektu ulutschenija wchoda.

(25) Aug. Wellner
a) Eesti Hüdrograafia ülevaade (Sisevete uurimise andmed I).
b) Naroovajoe uurimise andmed ja veejou Kasutamise kawa (Sisevete uurimise andmed II).
c) Sisevite Büroo Aastaraamat 1923 A (Sisevete uurimise andmed V).

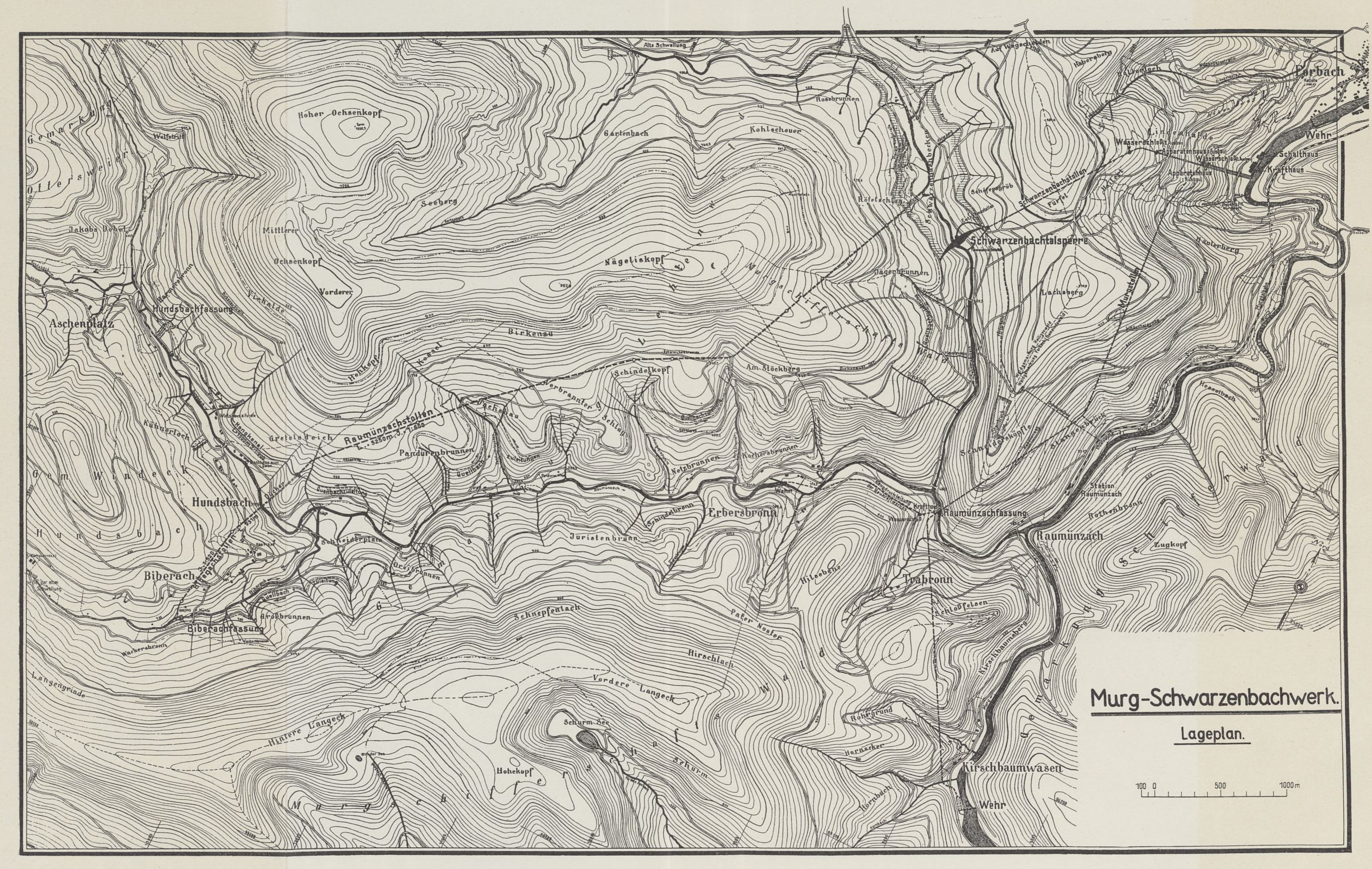
(26) Archiv des Estländischen Büros für innere Wasserwege (Sisevete Büroo).

(27) Archiv der Pernauschen Hafenverwaltung.

(28) Nasarow, Pärnu sadam (Laewandus N 4, 1922).

(29) W. J. Rummel und A. W. Silitsch, Resultaty isyskani w portach Baltiskago morja (Materjaly dlja opissanja russkich portow, wypusk XXXIII).


BIBLIOTHEK DER TECHNISCHEN HOCHSCHULE
BRESLAU



Verlag: Guido Hackebeil A.-G., Berlin S 14